

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту _____
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання _____
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ В.А. Попов
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
спеціалізації Системи забезпечення споживачів електричною енергією
на тему: «Автоматизована система розширеного моніторингу та комерційного обліку електроенергії»

Виконав: студент VI курсу, групи ОЕ-91мп

_____ Тисячний Сергій Григорович _____
(прізвище, ім'я по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Калінчик Василь Прокопович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант нормоконтроль ас. Прокопенко І.Д _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.А. Попов

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Тисячний Сергій Григорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Автоматизована система розширеного моніторингу та комерційного обліку електроенергії»

науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Калінчик Василь Прокопович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «03» листопада 2020 р. №3199-с

2. Строк подання студентом дисертації 14 грудня 2020 року

3. Об'єкт дослідження Засоби обліку електричної енергії

4. Предмет дослідження методи, способи і алгоритми застосування автоматизованих систем розширеного моніторингу та комерційного обліку електричної енергії

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

а) аналіз існуючих методів обліку електричного споживання промислових підприємств;

б) аналіз застосування і можливості удосконалення існуючих методів обліку електричної енергії за допомогою АСКОЕ;

в) розробка методики створення автоматизованих систем розширеного

моніторингу та комерційного обліку електричної енергії на промисловому підприємстві

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: блок-схеми розроблених алгоритмів, графіки електричних навантажень, діаграми, ілюстрації вигляду приладів, презентаційний матеріал

7. Орієнтовний перелік публікацій

а) Тисячний С. Г., Огляд і аналіз систем обліку та контролю електроспоживання / Збірник наукових праць науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина», 2020. – (Київ, 7 травня 2020 рік) - С.76-80;

б) Тисячний С. Г., Моніторинг рівнів електроспоживання на підприємствах / Збірник наукових праць науково-технічної конференції «Сталий розвиток енергетики. Сучасні системи забезпечення електричною енергією», 2020. – (Київ, 27 листопада 2020 рік) - С.135-142

в) Калінчик В. П., Єсін Д., Тисячний С. Г., Принцип побудови багаторівневої системи обліку електроенергії / XXXII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії», 2020. – (30 листопада 2020 рік) – С.206-209

8. Дата видачі завдання 29 травня 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Отримання завдання	29.05.20	Виконано
2	Аналіз літературних джерел	1.06.20-31.08.20	Виконано
3	Робота над першим розділом	1.09.20-14.09.20	Виконано
4	Робота над другим розділом	15.09.20-30.09.20	Виконано
5	Робота над третім розділом	1.10.20-13.10.20	Виконано
6.	Розробка стартап проекту	14.10.20-29.10.20	Виконано
7.	Оформлення дисертації	30.10.20-3.11.20	Виконано
8.	Оформлення реферату і презентації, перевірка на плагіат та рецензування	30. 10.20-10.12.20	Виконано
9.	Передзахист МД	10.12.20-14.12.20	Виконано
10.	Захист дисертації	17.12.20-22.12.20	Виконано

Студент

_____ (підпис)

С. Г. Тисячний

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

В. П. Калінчик

_____ (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи: дисертація викладена на 127 сторінках, складається з вступу, 4 розділів, висновку, уміщує 42 рисунки, 3 таблиці, 36 формул, список використаних джерел із 26 найменувань на 4 сторінках. При виконанні дисертації використовувалось програмне забезпечення MS Excel.

Актуальність роботи. Автоматизований комерційний облік та моніторинг електричного споживання промислового підприємства є одним із головних техніко-економічних питань науки. Необхідність точного обліку електроспоживання обумовлена економічними і технологічними причинами.

Існує досить велика кількість методів та моделей обліку електроенергії. Розвиток та становлення методів автоматизованого обліку електроспоживання пов'язано із працями таких вітчизняних та зарубіжних учених: Аганичев А., Панфилов Д., Плавич М., Праховник А.В, Гинайло В. А., Гуртовцев А.Л., Петухов В. Г., Калинчик В.П., Розен В.П., Соловей А.И., Танский А.-М., Бедерак Я.С., Р.О. Буйний., Железко Ю.С., Банин Д.Б., Банин М.Д., Дегтярев А.В., Бедерак Я.С., Находов В.Ф., Находов В.Ф., Прокопенко В.В., Чернявський А.В., Коменда Н.В., Волошко А.В., Бедерак Я.С. та інших.

Рациональність використання електроенергії багато в чому залежить від способу обліку. Найбільшу ефективність показали себе автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) за допомогою яких можна в режимі реального часу відслідковувати споживання електричної енергії. АСКОЕ має ряд переваг порівняно з існуючими засобами обліку, тому вони значно краще підходять для поставлених задач. Однак, головний їх недолік це висока вартість, тому станом на сьогодні масово впроваджувати такі системи в тому числі і в побуті не доцільно, але їхня ефективність показала

себе на промислових підприємствах на яких доволі часто вони використовуються.

Мета та завдання дослідження: підвищення ефективності електроспоживання промислового підприємства, шляхом впровадження автоматизованих систем розширеного моніторингу і комерційного обліку електроенергії та даних отриманих від них.

1. Виявити головні вимоги, що пред'являються до обліку електричного споживання промислового підприємства, який купує електричну енергію на оптовому, а у майбутньому і на балансуєчому ринку електричної енергії і потужності.

2. Порівняти існуючі засоби обліку електричного споживання промислових підприємств та вибрати оптимальний метод.

3. Розробити методику створення автоматизованої системи комерційного обліку електричного споживання промислового підприємства.

4. Встановити залежність електричного споживання багатомісн-клатурного промислового підприємства від, впливаючих на нього параметрів навколишнього середовища та виробничих параметрів.

5. Розробити методику оцінки впливу точного обліку на електричне споживання промислового підприємства з використанням АСКОВ.

6. Оцінити та перевірити якість роботи впровадженої автоматизованої системи шляхом порівняння фактичних та минулих значень електричного споживання гірничого підприємства.

Об'єктом дослідження являються засоби обліку електроспоживання промислового підприємства.

Предмет дослідження: наявні автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії, їх ефективність, моніторинг електроспоживання, оптимізація процесів електроспоживання, похибки та шляхи їх зменшення.

Методи дослідження. Розробки і дослідження проводилися на основі теорії математичного моделювання, теорії системного аналізу, теорії штучних нейронних мереж, евристичних алгоритмів відбору і нечіткої логіки, комп'ютерного моделювання, зворотного розповсюдження помилки.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розроблено методику визначення залежностей електроспоживання промислового підприємства від впливаючих на нього параметрів за допомогою АСКОЕ.

2. Створена система моніторингу електроспоживання промислового підприємства, яка більш ефективна ніж існуюча система та враховує різні фактори такі як: погодні, виробничі, соціально-економічні.

3. Створено методику щодо здійснення системи обліку електроенергії на промислових підприємствах, які будуть учасниками балансуючого ринку електроенергії в Україні.

Практичне значення одержаних результатів.

Дослідження, що було проведене в роботі може бути використане:

- для зниження фінансових витрат підприємств, які виникають при відхиленні фактичних обсягів електричного споживання від обсягів, заявлених до покупки на ринку електричної енергії, шляхом використання АСКОЕ;

- для обліку і планування виробничої діяльності, що дозволяє знизити величину помилки при прогнозуванні електроспоживання;

- для вибору найбільш оптимального плану роботи підприємства у випадку необхідності вибору шляхів управління навантаженням підприємства.

Апробація

1. Науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина», (Київ, 7 травня 2020 рік);

2. Науково-технічної конференції «Сталий розвиток енергетики. Сучасні системи забезпечення електричною енергією», (Київ, 27 листопада 2020 рік).

3. XXXII Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії», (30 листопада 2020 рік)

Публікації

1. Тисячний С. Г., Огляд і аналіз систем обліку та контролю електроспоживання / Збірник наукових праць, 2020. – (Київ, 7 травня 2020 рік) - С.76-80;

2. Тисячний С. Г., Моніторинг рівнів електроспоживання на підприємствах / Збірник наукових праць, 2020. – (Київ, 27 листопада 2020 рік) - С.135-142

3. Калінчик В. П., Єсін Д., Тисячний С. Г., Принцип побудови багаторівневої системи обліку електроенергії, 2020. – (30 листопада 2020 рік) – С.206-209

Ключові слова: АСКОЕ, Автоматизована система, Режим електричного споживання, Облік електроенергії, Комерційний облік електро-енергії, Система моніторингу, Розширений моніторинг електроенергії.

ABSTRACT

Structure and scope of work: the dissertation is laid out on 130 pages, consists of an introduction, 4 sections, a conclusion, contains 42 figures, 3 tables, 36 formulas, the list of the used sources from 26 names on 4 pages. MS Excel software was used in the dissertation.

Relevance of work. Automated commercial accounting and monitoring of electrical consumption of an industrial enterprise is one of the main technical and economic issues of science. The need for accurate accounting of electricity consumption is due to economic and technological reasons.

There are quite a number of methods and models of electricity metering. The development and formation of methods of automated accounting of electricity consumption is associated with the works of the following domestic and foreign scientists: Aganichev A., Panfilov D., Plavych M., Prakhovnik AV, Ginailo VA, Gurtovtsev AL, Petukhov VG, Kalinchik VP, Rosen VP, Solovey AI, Tansky AM, Bederak Ya.S., R.O. Buyniy., Zhelezko YS, Voloshko AV, Bederak JS and others.

The rationality of electricity use largely depends on the method of accounting. Automated commercial electricity metering systems (ASCOE) have proven to be the most efficient, with the help of which it is possible to monitor electricity consumption in real time. ASKOE has a number of advantages in comparison with existing means of the account therefore they are much better suited for the set tasks. However, their main disadvantage is the high cost, so as of today, the mass implementation of such systems, including in everyday life is not appropriate, but their effectiveness has shown itself in industrial enterprises.

Purpose and research objectives:

to increase the efficiency of electricity consumption of an industrial enterprise by introducing automated systems for advanced monitoring and commercial accounting of electricity and data obtained from them.

1. Identify the main requirements for accounting for electricity consumption of an industrial enterprise that buys electricity in the wholesale, and in the future in the balancing market of electricity and capacity.

2. Compare the existing means of accounting for electrical consumption of industrial enterprises and choose the best method.

3. To develop a method of creating an automated system of commercial accounting of electrical consumption of an industrial enterprise.

4. Develop a methodology for assessing the impact of accurate metering on the electrical consumption of an industrial enterprise using ASKOE.

5. Assess and check the quality of the implemented automated system by comparing the actual and past values of electrical consumption of the mining enterprise.

The object of research is the means of accounting for electricity consumption of an industrial enterprise.

Subject of research: available automated systems of commercial electricity metering, their efficiency, monitoring of electricity consumption, optimization of electricity consumption processes, errors and ways to reduce them.

Research methods. Developments and researches were carried out on the basis of the theory of mathematical modeling, the theory of system analysis, the theory of artificial neural networks, heuristic algorithms of selection and fuzzy logic, computer modeling, inverse error propagation.

Scientific novelty of the obtained results.

1. The technique of definition of dependences of power consumption of the industrial enterprise on the parameters influencing it by means.

2. A system for monitoring the electricity consumption of an industrial enterprise has been created, which is more efficient than the existing system and takes into account various factors such as: weather, production, socio-economic.

3. A methodology for the implementation of the electricity metering system at industrial enterprises that will be participants in the balancing electricity market in Ukraine has been created.

The practical significance of the obtained results. The research conducted in this work can be used:

- to reduce the financial costs of enterprises that arise from the deviation of the actual volume of electricity consumption from the volumes declared for purchase on the electricity market, through the use of ASKOE;

- for accounting and planning of production activities, which reduces the amount of error in forecasting electricity consumption;

- to select the most optimal work plan of the enterprise in case of the need to choose ways to manage the load of the enterprise.

Approbation.

1. Scientific and technical conference "Energy. Ecology. People" (Kyiv, May 7, 2020);

2. Scientific and technical conference "Sustainable energy development. Modern power supply systems ", (Kyiv, November 27, 2020)

Publication

1. Tysiachnyi S.H., Review and analysis of systems of accounting and control of electricity consumption/Collection of scientific works 2020. - (Kyiv, May 7, 2020) - P.76-80;

2. Tysiachnyi S. H., Monitoring of levels of electricity consumption at enterprises / Collection of scientific works, 2020. - (Kyiv, November 27, 2020) - P.135-142

Key words: ASKOE, Automated system, Electric consumption mode, Electricity metering, Commercial electricity metering, Monitoring system, Extended electricity monitoring.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	14
ВСТУП.....	15
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	18
1.1 Загальний опис побудови систем обліку.....	18
1.2 Недоліки чинних системи збору показників приладів обліку	26
1.3 Переваги використання автоматизованих систем обліку	28
1.4 Індукційні прилади обліку.....	32
1.5 Електронні лічильники електричної енергії	34
1.6 Точність вимірювань електричної енергії лічильником	35
1.7 Схеми включення однофазних лічильників електроенергії.	37
1.8 Схеми приєднання трифазних лічильників в електромережах напругою 220/380 В	39
1.9 Принцип роботи АСКОЕ	42
1.9.1 Будова системи АСКОЕ із можливістю опитування лічильників електричної енергії за допомогою оптичних портів.....	45
1.9.2 Організація АСКОЕ з проведенням автоматичного опитування лічильників локальним центром збору та обробки даних	47
1.10 Досвід зарубіжних країн впровадження АСКОЕ	49
1.11 Необхідність впровадження АСКОЕ в Україні.....	54
Висновок до розділу	56

2 МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ.....	57
2.1 Класифікація і огляд методів прогнозування.	57
2.2 Головні методики прогнозування часових рядів	60
2.3 Шляхи зменшення витрат електроенергії та розміру оплати за електроенергію	61
2.4 Забезпечення точності, оперативності та достовірності вимірювальної інформації.....	67
2.5 Контроль і моніторинг поточних технологічних параметрів режимів електричного споживання на промисловому підприємству	68
Висновки до розділу	71
3 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ АСКОВЕ ДЛЯ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРИСНОГО СПОЖИВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ.....	73
3.1 Моніторингу електроспоживання на підприємствах залізничної галузі криворізького регіону	73
3.2 Опис проблеми не ефективного використання електроенергії і шляхи їх вирішення за допомогою впровадження АСКОВЕ на шахті.....	83
3.3 Опис енергосистеми промислового підприємства та його приладів обліку	84
3.4 Впровадження АСКОВЕ на даній шахті	86
3.5 Проведення розрахунків опираючись на дані АСКОВЕ.....	89
Висновок до розділу	98
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	100
4.1 Опис ідеї та будови стартап-проекту	100

4.2 Вибір компонентів системи моніторингу спожитої електричної енергії	103
4.2.1 Універсальна платформа Aduino Uno	103
4.2.2 Ethernet модуль ENC28J60.....	105
4.2.3 Wi-Fi модуль ESP8266	106
3.2.4 GSM-модуль SIM800L	110
3.2.5 Датчик струму та напруги PZEM-004T	111
4.3 Структурна схема системи моніторингу спожитої електричної енергії	113
4.4 Алгоритм роботи контролера в системі моніторингу спожитої електроенергії.....	115
4.5 Експериментальні дослідження споживання електроенергії розробленою системою моніторингу.....	119
Висновки до розділу.....	121
ВИСНОВОК	122
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	124

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСКОЕ – Автоматизована система комерційного обліку електроенергії

НКРЕ - Національною комісією регулювання електроенергетики

ПРТ - Постачальником за регульованим тарифом

СГЕ – Служба головного енергетика

ППРЕ – Поточні параметри режимів електроспоживання

ПКЕЕ - Правил користування електричною енергією

ПЗПД - Пристрій збирання та передавання даних

ЛУЗОД - Локальне устаткування збору та обробки даних

УППДВ - Уніфікований протокол передавання даних вимірювань

AMR - Automated Meter Reading (дистанційний збір даних)

ЗРС – Залізнорудна сировина

ШНМ – Штучні нейронні мережі

ОЕС – об'єднана енергетична система

СЕС – система електропостачання

ЕЕРП – економічний еквівалент реактивної потужності.

ВСТУП

Електроенергетична галузь в Україні сьогодні має велику кількість проблем і задач, які потребують вирішення, особливо тих задач, які можуть покращити ситуацію в напрямку енергетичної безпеки держави. Звісно, однією із таких задач є методологія і інструментарій управління електричним споживанням, що включає у себе питання енергозбереження і ефективності, економічної і комерційної обґрунтованості.

Необхідність обліку і управління режимами електроспоживання у промисловості обумовлена тим, що їх електричні навантаження ростуть та створюють дефіцит активної потужності у ОЕС України, також питомі показники витрат електроенергії на виробництво одиниці продукції невпинно збільшуються відповідно і зростають витрати на виробництво і, як наслідок, - ціна. Підвищення цін в свою чергу спричиняє втрату конкурентоспроможності. В Україні є підприємства, які у структурі витрат енергоресурсів на одиницю продукції мають частку около 70% (особливо це стосується металургійної галузі). Тому тут можна говорити про потребу удосконаленні існуючих методик та засобів управління електроспоживанням.

На сьогодні у нашій державі відомі незначна кількість прикладів ефективного функціонування служб енергетичного менеджменту, аудиту, внутрішнього обліку та споживання енергетичних ресурсів. Аналіз наукових праць із управління електричного споживання на підприємствах показує, що вони не досконало вирішують всіх поставлених задач перед ними [1].

Таким чином, актуальність теми, що розглядається, є управління енергоспоживанням на підприємстві та його недостатнє застосування в умовах вітчизняної економіки з іншої,

Актуальність роботи. Автоматизований комерційний облік та моніторинг електричного споживання промислового підприємства є одним із головних техніко-економічних питань науки. Необхідність точного обліку електроспоживання обумовлена економічними і технологічними причинами.

Рациональність використання електроенергії багато в чому залежить від способу обліку. Найбільшу ефективність показали себе автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) за допомогою яких можна в режимі реального часу відслідковувати споживання електричної енергії. АСКОЕ має ряд переваг порівняно з існуючими засобами обліку, тому вони значно краще підходять для поставлених задач. Однак, головний їх недолік це висока вартість, тому станом на сьогодні масово впроваджувати такі системи в тому числі і в побуті не доцільно, але їхня ефективність показала себе на промислових підприємствах на яких доволі часто вони використовуються.

Мета та завдання дослідження: підвищення ефективності електроспоживання промислового підприємства, шляхом впровадження автоматизованих систем розширеного моніторингу і комерційного обліку електроенергії та даних отриманих від них.

1. Виявити головні вимоги, що пред'являються до обліку електричного споживання промислового підприємства, який купує електричну енергію на оптовому, а у майбутньому і на балансуєчому ринку електричної енергії і потужності.

2. Встановити залежність електричного споживання багатомісн-клатурного промислового підприємства від, впливаючих на нього параметрів навколишнього середовища та виробничих параметрів.

3. Розробити методику оцінки впливу точного обліку на електричне споживання промислового підприємства з використанням АСКОЕ.

4. Оцінити та перевірити якість роботи впровадженої автоматизованої системи шляхом порівняння фактичних та минулих значень електричного споживання гірничого підприємства.

Об'єктом дослідження являються засоби обліку електроспоживання промислового підприємства.

Предмет дослідження: наявні автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії, їх ефективність, моніторинг електроспоживання, оптимізація процесів електроспоживання, похибки та шляхи їх зменшення.

Методи дослідження. Розробки і дослідження проводилися на основі теорії математичного моделювання, теорії системного аналізу, теорії штучних нейронних мереж, евристичних алгоритмів відбору і нечіткої логіки, комп'ютерного моделювання, зворотного розповсюдження помилки.

Практичне значення одержаних результатів.

Дослідження, що було проведене в роботі може бути використане:

- для зниження фінансових витрат підприємств, які виникають при відхиленні фактичних обсягів електричного споживання від обсягів, заявлених до покупки на ринку електричної енергії, шляхом використання АСКОЕ;
- для обліку і планування виробничої діяльності, що дозволяє знизити величину помилки при прогнозуванні електроспоживання;
- для вибору найбільш оптимального плану роботи підприємства у випадку необхідності вибору шляхів управління навантаженням підприємства.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1 Загальний опис побудови систем обліку

Сучасні автоматизовані системи моніторингу та комерційного обліку електричних ресурсів (АСКОЕ) є не простими системами, які виконують одночасно ведуть облік та проводять вимірювання кількості енергії та різних енергоресурсів за територіально розподіленими точками обліку та передають інформацію далі за ієрархічним рівнем у реальному часі. Найбільше значення АСКОЕ має у електроенергетиці [1].

З дня появи наприкінці 19 століття першого електромеханічного лічильника електричної енергії в 1889, облік здійснювався шляхом безпосередньо записом показань лічильних механізмів та занесення їх у відповідний протокол.

Прив'язка показань електро лічильників до реального часу в великій мірі залежить від годинника контролера та часу проведення записів показань лічильника [2]. Похибка викликана часом такого способу обліку знаходилась в межах від декількох годин до кількох діб, інколи у багато разів перевищуючи похибку обліку самим електро лічильником [3].

Наприклад, автоматизована система комерційного обліку електроенергії на базі АПК «Сатурн» (рис. 1.1) дає змогу побачити розподіл енергоресурсів всередині підприємства в режимі реального часу, одержати розгорнуту картину енергоспоживання та вирішити інші комплекси завдань з оптимізації енерговитрат й енергопостачання його структурних підрозділів, аж до кожного індивідуального споживача. Крім того, автоматизована система комерційного обліку електроенергії дає можливість поєднати прогнозування енерговитрат із планом виготовлення

готової продукції, врахувати енергоскладову в собівартість на кожному конкретному етапі виробництва, проаналізувати період перевантаження або навпаки простою енергоємного обладнання та інше. Автоматизована система комерційного обліку електроенергії на базі АПК «Сатурн» складається із двох основних підсистем: підсистема формування бази даних та роботи з нею; підсистема первинної обробки і збору інформації.

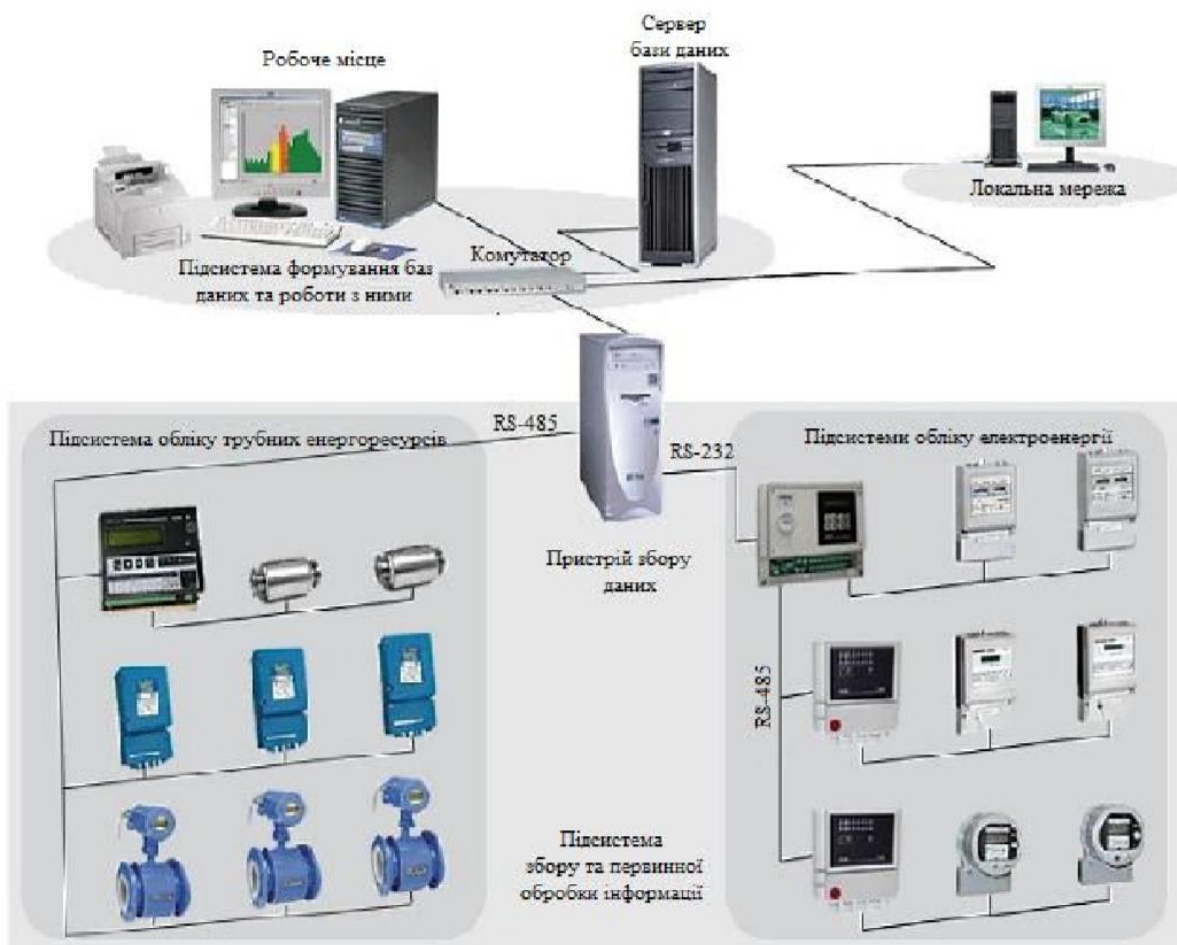


Рисунок 1.1 – АСКОЕ на базі АПК «Сатурн»

На даний момент основна маса побутових споживачів подають та сплачують показники своїх електро лічильників зі паузою до 3-х тижнів з моменту закінчення розрахункової дати, в зв'язку з цим тимчасова похибка досягає 40–50%. Ідея

технічних засобів для автоматизованого дистанційного зчитування показників давно відома, але практично реалізовувати розпочали у промислово розвинених країнах тільки в 70–80-ті роках 20 століття, коли появилися інтегральні технології, що дали змогу зробити технічні рішення економічно прийнятними для масового впровадження [4].

З розпадом СРСР та планової економіки закінчилася епоха необмежених та дешевих енергоресурсів, коли їх частка в собівартості виробленої продукції становила лише всього декілька процентів. На даний момент в зв'язку з багаторазовим подорожчання енергоресурсів їх доля в собівартості продукції для більшості промислових підприємств значно зросла та сягає 20–30%, а для найбільш енергоємних підприємств становить 40% та більше. Разом з збільшенням цін на енергоресурси, як необхідний наслідок постала економічна доцільність їх споживання в межах технології, що склалися історично для кожного підприємства. Фактор високої вартості за енергоресурси змусив в останні роки кардинально змінити підхід до організації енерго обліку. Під тиском ринкових законів споживачі розуміють ту просту істину, що першим кроком в економії енергоресурсів і зниженні фінансових втрат є точний облік.

Сучасна торгівля енергоресурсами побудована на використанні автоматизованого приладового енергообліку, який зводить до мінімуму участь людини на етапі збирання, вимірювання і оброблення даних та забезпечує, точний, гнучкий, достовірний, оперативний, адаптований до різних тарифних систем облік, як з боку постачальника енергоресурсів, так і з іншого боку - споживача [5]. З цією метою як споживачі, так і постачальники встановлюють на своїх об'єктах автоматизовані системи моніторингу та обліку енергоресурсів (рис. 1.1).

За наявності сучасної автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії промислове підприємство повністю веде моніторинг та контроль за

весь свій процес енергоспоживання і має можливість за узгодженням з постачальниками енергоресурсів без проблем переходити до інших тарифних систем, мінімізуючи витрати.

Переваги автоматизованих систем, за допомогою яких ведеться облік електроенергії вже давно відомі, тому що такі системи вже протягом багатьох років застосовуються як за кордоном, так і в Україні на різних промислових заводах та фабриках. Окрім функцій обліку, їх застосовують для моніторингу, контролю та керування електроспоживання даних підприємств.

Головними елементами систем АСКОЕ є такі компоненти:

- пристрій збору і передачі даних (ПЗПД) застосовують для "тимчасового зберігання, зчитування та передачі інформації в локальний блок збору даних. Найчастіше їх виконують у вигляді багатоканальних електромережних модемів (ЕМ) з інтерфейсним модулем та блоком контролю приладу обліку "

- локальні блоки збору даних (ЛБЗД), що призначені для передачі та збору інформації в ЦДП;

- прилади обліку електроенергії з незалежною від зовнішнього живлення пам'яттю, на якій зберігається проміжні показники і дані;

- центри обробки даних, на яких виконується робота по опитуванню приладів обліку, обробляється отримана інформація, складається звітна документація, віддалено обслуговується лічильники електричної енергії та створюється доступ для роботи з базою даних, призначеної для взаєморозрахунків і виставлення рахунків за спожиту електроенергію.

УТР кабелем лічильник електричної енергії приєднується до виходу інтерфейсного модуля багатоканального електромережевого модему, встановленого

в зовнішньому щитку. Зі свого боку, електромережний модем, приймає інформацію, потім обробляє її, і відбувається прив'язка показників лічильника до часу зчитування і все це зберігається у незалежній пам'яті за вказаною програмою. Для подальшого передавання обробленої інформації в локальні блоки збору даних, модем перетворює її в вигляд, що дозволяє забезпечити передачу інформації без значних втрат по електромережі.

ЛБЗД є автономним апарат з кількома приладами передачі даних та прийому. ЛБЗД виконують монтаж на ввіді в будинок або на ТП. До кожної фази ЛБЗД підключається за допомогою вбудованих ЕМ.

Передача інформації від ЛБЗД на сервер здійснюється по GPRS або комутованій лінії через послідовний інтерфейс і телефонний модем. Збір первинної інформації при розосереджених системах проводиться безпосередньо з ЛБЗД із застосуванням переносних пристроїв інформації, таких як планшет або ноутбук. Один такий блок може обслуговувати до 2048 приладів обліку.

Центром збору даних індивідуальних приладів обліку, їх обробки, реєстрація, аналіз та відображення являє собою центральний диспетчерський пункт (ЦДП). Програмне забезпечення ЦДП логічно можна поділити на дві частини: обробка зібраної інформації і оперативний зв'язок з ЛБЗД. Всі отримані для обробки результати зберігаються в спеціальній базі даних.

При обробці зібраних даних програмне забезпечення (ПО) ЦДП виконує наступні функції:

- зведення балансу по балансним групам;
- друк рахунків для кожного споживача;
- виписка рахунків;

- зведеної таблиці енергоспоживання та створення звітів.

Для захисту системи від несанкціонованих взломів передбачені шифрування інформації і багатоступінчастий доступ до параметрів і поточних даних.

Автоматизовані системи можуть запропонувати альтернативні рішення вищевказаних проблем, такі як:

- організація дистанційного зчитування показань індивідуальних і колективних (загальнобудинкових) приладів обліку через спеціальне програмне забезпечення;

- можливість оснащення приладів обліку пристроями для зчитування з них показань на машинні носії інформації (ноутбуки, мобільні термінали), а самих контролерів - переносними пристроями (пультами) для здійснення цього зчитування. Таким чином, контролери позбавляються можливості змінювати показання лічильників і надають в центральну диспетчерську достовірні дані.

У світовому співтоваристві такі системи позначаються "AMR system" (Automatic meter reading (AMR) - система автоматичного зчитування показань лічильників електричної енергії). Багато компаній з виробництва лічильників електричної енергії довгі роки розробляли системи для громадян-споживачів, що відповідають вимогам надійності, безпеки експлуатації, простоти і відносно недорогої вартості. При створенні подібних систем були дотримані два основних підходи: система повинна окупатися і забезпечувати підвищену надійність функціонування. Зараз такі системи вже існують, виробляються серійно і їх масово впроваджують у багатьох країнах, що розвиваються.

Зараз найбільш поширеною технікою зв'язку AMR у всьому світі є радіозв'язок, а слідом за нею йде технологія PLC-зв'язку.

Це викликано тим, що в Північній Америці більша кількість ресурсів вкладається саме в радіозв'язок, а ринок енергопостачальних організацій поза Америкою має інший пріоритет в області зв'язку - там домінує зв'язок по низьковольтній мережі (PLC).

Масштабне використання PLC-зв'язків не дивно в державах з економікою, що розвивається, у яких, як правило, немає розгорнутої телефонної або радіозв'язної інфраструктури і де навіть у дротових телефонів немає великої протяжності ліній і потрібного покриття площ (для AMR-технологій потрібні практично 100% площі покриття, щоб досягти кожного будинку або підприємства). У подібних країнах єдине середовище зв'язку, яке досягає кожного споживача електричної енергії - це електричний мережевий дріт.

Технічні рішення, що використовуються в системах AMR на базі PLC-технології, дозволяють:

- у більшості споживачів зберегти однотарифні лічильники, з передачею даних від них по силовій мережі в групі УСПД;
- впровадити у кожного споживача будь-які нові тарифні системи, змінюючи тільки програмне забезпечення в УСПД, без проведення монтажних робіт і заміни лічильників електричної енергії;
- знімати показання приладів обліку в багатоквартирному будинку дистанційно, не заходячи в приміщення, де вони встановлені, при цьому у самих контролерів не буде можливості змінити показання лічильників електричної енергії,
- виявляти розкрадання електроенергії, повідомляти про це і дистанційно відключати боржників.

Системи з передачею даних по силовій мережі універсальні і багатофункціональні, оскільки крім обробки інформації про споживання різних видів енергетичних ресурсів вони можуть бути доповнені й іншими функціями, наприклад, охоронно-пожежною сигналізацією. Це у багато разів підвищує їх ефективність і знижує терміни окупності.

Одним з великих прикладів систематизованого вирішення завдань і проблем організації обліку і постачання електроенергії у споживачів в північній частині Європи є система компанії Enel. Дана компанія в 2001 р. запланувала масову заміну 30 мільйонів застаріваючих лічильників електричної енергії.

Всі ці лічильники по силових проводах будуть об'єднані в єдину систему контролю та обліку - Telegestor. Системи, подібні до цієї, допоможуть впроваджувати будь-які тарифні системи з мінімальними витратами.

За збігом обставин, всі споживачі не мають можливості одночасно знімати дані по лічильниках. Для власної вигоди, деякі споживачі занижують реальні свідчення, для зниження індивідуального споживання. Для вирішення такої проблеми, негласно призначається "старший по будинку", який здійснює обхід всіх житлових приміщень і знімає свідчення в один час. Але залишається проблема з доступом до лічильників. Найчастіше люди просто не відкривають дверей, тому немає можливості потрапити до приладу обліку.

Також гостро стоїть проблема з розкрадання електроенергії. Всі ці фактори впливають на загальнобудинкові потреби, за якими виставляється набагато більший обсяг споживання, ніж є насправді.

Таким чином, існує цілий ряд проблем, викликаний сформованою практикою збору даних громадян-споживачів. Збільшення відсотка достовірності та кількості показань обумовлено постійною проблемою щодо збільшення обслуговуючого

персоналу. Недобросовісні споживачі навмисно спотворюють свідчення і передають занижені дані або зовсім їх не передають. У свою чергу це призводить до того, що тим громадянам-споживачам, у яких свідчення відсутні, перші півроку нараховують середній обсяг споживання, а в наступні місяці обсяг за нормативом, що набагато нижче їх реального споживання і вигідніше їм оплачувати.

Оптимальним рішенням є впровадження системи АСКУЕ, яке дозволить вирішити низку проблем, що існують при зборі даних про електроспоживання населення, а також підвищити ефективність роботи електромережевої компанії в цілому.

1.2 Недоліки чинних системи збору показників приладів обліку

Безперервне електропостачання всіх споживачів є основним завданням енергопостачальних компаній. Забезпечення безперервності електропостачання вимагає наявності у персоналу диспетчерських служб достовірної інформації про стан енергооб'єктів та параметри мережі, щоб оперативно впливати на електропостачання в будь-яких аварійних ситуаціях та своєчасно запобігати виходу з ладу системи під час перенавантаження. Контроль стану та управління енергооб'єктами мають забезпечувати інформаційні системи[1]

Через зростання споживання електроенергії електромережі опинилися на межі перевищення розрахункового навантаження, тож мережеві компанії всього світу нашої епохи намагаються на однакову дилему. З одного боку, зростає потреба у високоякісному безперебійному електропостачанні. З іншого, регуляторні органи не схвалюють підвищення тарифів, потрібного для оплати критично важливих оновлень інфраструктури[1].

У чинної системи збору показників є багато недоліків, у випадку подальшого продовження використовувати таку організацію обліку, це ще більше загострить подальші проблеми:

- обходи кожного місяця та зняття показників індивідуальних приладів обліку (ІПО) контролерами обленерго різко загострять проблему доступу контролерів до точки встановлення ІПО, а також призведе до збільшення кількості штату працівників електромережної компанії;

- масові обходи призводять до великої ймовірності спотворення показників лічильників через випадкові помилки або навмисні дії при їх списанні контролерами потрібно буде звести до мінімуму за допомогою самих контролерів, що практично не реально і є людським фактором;

- через відсутність перехресного субсидування і неможливістю впровадження системи самообслуговування для енергетиків встануть проблеми оптимізації особистих витрат на виписку рахунків за електроенергію та зняття показників приладів обліку, а також проблема з кожним споживачем укладання індивідуального договору електропостачання;

- постійне виставлення рахунків для багатьох споживачів і необхідність відключити за не оплати часто при цьому виникають помилки, які потребують максимальної автоматизації та механізації цього простого процесу.

- ново утворені електромережіві компанії в умовах ринкової конкуренції зможуть економічно вистояти, лише задовільнивши своїх споживачів гнучкими взаємовигідними тарифи, диференційованих як за часом доби, так і за електричним споживанням.

Проведення ринкового обліку електроенергії, що транспортується від генеруючих компаній до споживачів, а також для її подальшої реалізації є досить не

просте завдання. Наслідком даних положень є те, що при чинних нормах проектування ні в ТП 10/0,4 кВ з сторони нижчої напруги, ні на вхідній частині 0,4 кВ в багатоповерхові житлові будинки прилади обліку ніколи не монтувалися.

На сьогодні, щоб визначити кількість спожитої електроенергії, потрібно додати показання кожного індивідуального лічильника електричної енергії встановленого у власних оселях жителів багатоквартирного будинку або в секторі приватних будинків (окремого району) та технічні втрати в електромережах 0,4 кВ.

Таким способом обліковувати кількість спожитої електроенергії, відпущеної споживачам зі своїх мереж, розподільча мережева компанія, яка обслуговує ці мережі, буде змушена запитувати від електромережної організації, яка визначає його «зворотнім рахунком», з урахуванням зібраних платежів і середнього відпускнуго тарифу. Так як при чинній системі «самообслуговування», споживачі надають не вірно та не своєчасно списані показники приладів обліку, рахунки за спожиту електроенергію надають зі значним спотворенням.

Звісно при такій системі обліку побачити реальні втрати в розподільчих електромережах та ефективність роботи, яку гарантує постачальника не є можливим. Вирішить дану задачу в силах автоматизованій системі комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

1.3 Переваги використання автоматизованих систем обліку

Висока вартість електроенергії наразі та постійне подорожчання енергоносіїв призвели до того, що необхідно переоцінювати підхід до організації обліку, контролю та управління електроенергією на промислових підприємствах.

Споживачі повинні розраховуватися за отриману електроенергію не за допомогою старих приладів, за встановленою потужністю або за договорами, а за допомогою точних засобів вимірювальної техніки. Сучасна торгівля енергією та

енергоносіями заснована на використанні системи автоматизованого обліку електроенергією, яка містить мінімальний відсоток людського фактору у зборі, обробці та передачі даних з підприємства та гарантує чіткий та об'єктивний облік.

Саме з цією метою споживачі створюють на промислових об'єктах автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) [9]. Ця система містить комплекс технічних, алгоритмічних, математичних та програмних засобів та використовується для:

- контролю потужності, яка споживається в часи максимуму навантаження;
- підвищення точності обліку;
- обліку споживання електроенергії;
- контролю параметрів вимірювальних приладів;
- перерозподілу споживання електроенергії, планування добового графіку роботи основних цехів промислового підприємства;
- накопичення та зберігання даних про споживання електроенергії в базі даних.

Переваги організації обліку електроенергії за допомогою автоматизованих систем обліку, контролю та управління дуже відомі. Системи такого складу використовуються як на вітчизняних промислових підприємствах, так і за кордоном. Крім функції обліку, ці системи також здійснюють контроль та управління електроспоживанням на таких підприємствах. Основний економічний ефект АСКОЕ полягає в тому, що зменшується сплата за споживану електроенергію та потужність, а для енергокомпаній в часи зниження максимумів споживання - в зменшенні капіталовкладень на збільшення генеруємої потужності. За рахунок різниці в тарифах можливо отримати значний економічний ефект, який дозволяє компенсувати витрати на створення такої системи за декілька місяців [3].

Основними перевагами обліку електроенергії засобами програмно-технічного комплексу є:

- автоматизований дистанційний збір інформації (щодо спожитої електроенергії) повністю виключає втручання людського фактору, що зменшує ймовірність припущення помилок при знятті показників приладів обліку чи свідомого їх спотворення;

- автоматизований контроль балансу активної енергії на заданих ділянках розподільчої мережі дозволяє в короткі терміни виявляти порушення в споживанні електроенергії (лічильники мають вбудований захист від крадіжки електроенергії), отримувати точні дані пофазного навантаження підконтрольних об'єктів, які необхідні для подальшого симетрування навантажень цих об'єктів, розташованих на ділянках мережі;

- автоматизоване управління (включення-виключення) споживача дозволяє мінімізувати затрати та виключити втручання людського фактора. До людського фактора можна віднести неможливість вимкнення споживання при відсутності доступу до лічильника (під'їзди багатоповерхових будинків зачиняються на двері з кодовими замками, щити з лічильниками знаходяться в так званих "тамбурах", в одноповерхові будинки індивідуальної забудови доступу практично немає через присутність собак та огорожі), небезпеку для здоров'я працівників, які здійснюють відключення споживача (відключення здійснюється під напругою).

- автоматизований контроль стану лічильника в складі комплексу дозволяє в короткі терміни виявити несправне обладнання і провести його ремонт;

- високий клас точності (клас 1.0) обліку спожитої електроенергії дозволяє енергопостачальній компанії звести до мінімуму різницю між відпущеною і оплаченою електроенергією, що значно підвищує економічну ефективність.

- можливість симетризації (рівномірно пофазно навантажено) проблемні будинки, в результаті чого усувається загроза аварій та припинення

електропостачання на цих об'єктах. Симетрування дає також можливість підвищити рівень якості електроенергії, яка постачається споживачам;

- завдяки автоматизованому аварійному нагляду персонал має можливість оперативно реагувати на несанкціоновані підключення до електромереж і ліквідовувати випадки крадіжок електроенергії;

- знято вплив людського фактора при знятті показників споживання абонентів;

- підвищено точність розрахунків оплати за спожиту абонентами електроенергію, а також зменшено затрати часу на зняття та обробку показників споживання електричної енергії, а також на формування платіжного документу по кожному споживачу.

До недоліків використання даного програмно-технічного комплексу слід віднести наступні чинники:

- наявність посередників в експлуатації електроустановок, в яких знаходяться засоби обліку електроенергії. Зокрема, такими посередниками є житлово-експлуатаційні організації, в віданні яких знаходяться житлові об'єкти, на яких встановлений комплекс. Через систематичні недопущення працівників ПТК до електрощитових будинків, в яких стоять балансні лічильники втрачається можливість оперативно реагувати на несанкціоновані підключення до електромережі 0,4 кВ. При цьому неможливо також провести ремонт несправного обладнання, якщо таке є в наявності. До того ж втрачається ефект від симетрування житлових будинків, коли працівники ЖЕО самовільно, без попередження працівників ПТК, перекидають квартири на інші фази, в результаті чого раніше проведена робота зводиться нанівець.

- при мінімальному обслуговуючому ПТК персоналу необхідна деяка кількість високопрофесійних технічних працівників, які крім електротехнічних

знань повинні також володіти навиками роботи з комп'ютером і розумітися в електронній техніці.

Таким чином, автоматизована система повністю задовільняє усім потребам до сучасного обліку і управління споживанням електроенергії в нашому обленерго і дозволяє підвищити економічну ефективність продажу електроенергії компанією[16].

1.4 Індукційні прилади обліку

Для вимірювань електричної енергії змінного струму застосовуються електронні і індукційні лічильники. Вимірюється спожита активна енергія, кВт•год, визначається у вигляді добутком часу на потужність

$$W = P \cdot t.$$

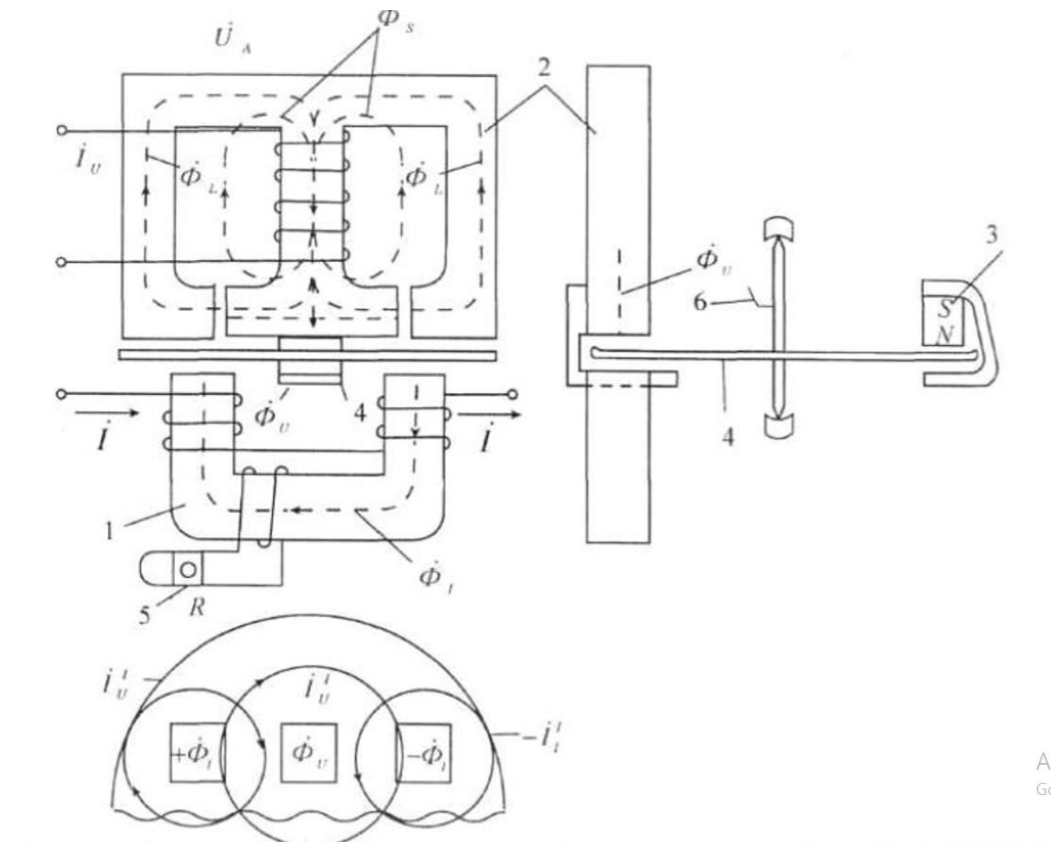


Рисунок 1.2 – Принцип роботи індукційного лічильника

Принцип роботи індукційного лічильника (рис. 1.2) заснована на створенні струму 1 і електромагнітної напруги 2 змінних магнітних потоків Φ_u Φ_i – з кутом зсуву фаз між ними 90° градусів та спрямованих перпендикулярно площині обертового диска. Магнітні потоки Φ_u і Φ_i , пронизують алюмінієвий диск та наводять в ньому вихрові струми I_i і I_u . Взаємодія магнітних потоків Φ_u і Φ_i з полем вихрових струмів створює момент обертання рухомої частини

$$M_{об} = k * \Phi_u * \Phi_i * \sin (90^\circ + \varphi) \quad (1.1)$$

Магнітний потік Φ_i пропорційний прикладеній напрузі U . Магнітний потік Φ_u пропорційний струму навантаження I_H . Тоді:

$$M_{об} = k * U * I_H * \cos \varphi \quad (1.2)$$

де k - постійний коефіцієнт, який визначається будовою лічильника. Постійний магніт 3 створює гальмівний момент. Для компенсації тертя в опорах та повітря в рахунковому механізмі диска 4, черв'ячної передачі електромагнітом 2 створюється компенсаційний момент, рівний гальмівного.

$$M_k = M_T \quad (1.3)$$

В результаті рівноваги гальмівного і компенсаційного моментів рухома частина при відсутності струму навантаження лишається в режимі динамічної рівноваги.

Основне регулювання характеристик індукційного лічильника здійснюється наступним чином:

- самохід за допомогою відгинанням прапорця 6, розташованого на осі диска 4.
- компенсаційний момент за допомогою переміщенням пластини магнітного шунта електромагніту 2;

- гальмівний момент за допомогою механічних переміщень постійного магніту 3;
- внутрішній кут фазового зсуву ϕ за допомогою переміщенням затиску 5 на опорі R;

1.5 Електронні лічильники електричної енергії

Облік електричної енергії електронними лічильниками побудовані на перетворенні аналогових вхідних сигналів змінної напруги та струму в рахунковий код або імпульс.

На рис. 1.3 представлена структурна схема електронного лічильника, заснованого на широтно-імпульсній і амплітудній модуляції.

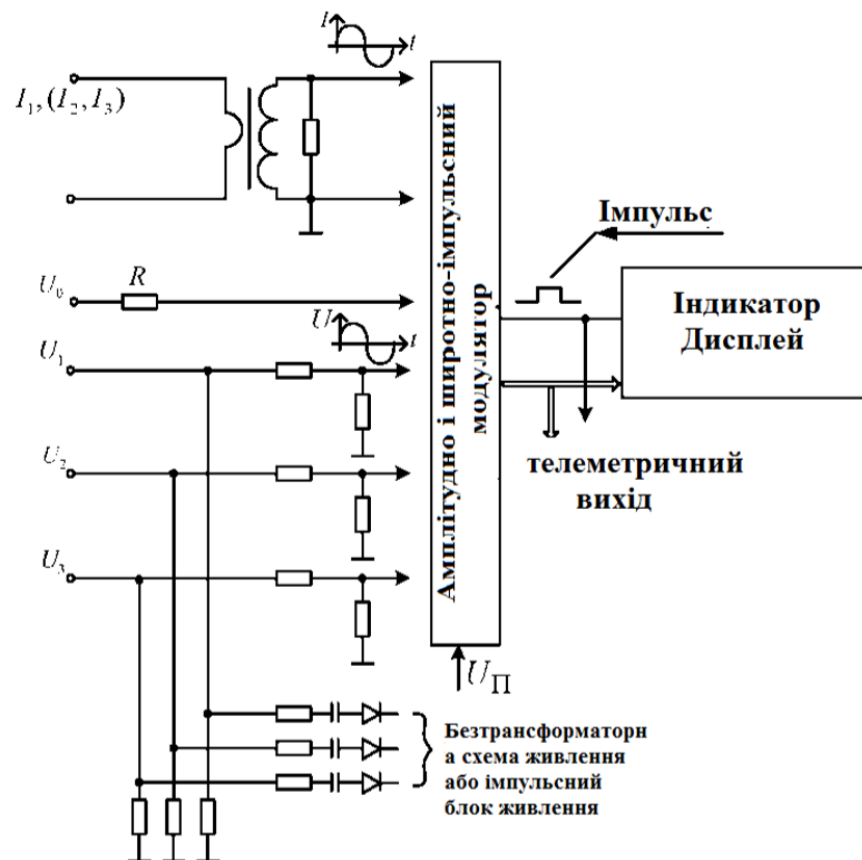


Рисунок 1.3. – Структурна схема будови електронного лічильника

У даному лічильнику відсутні механічні деталі, що обертаються, тим самим виключається тертя. Такий підхід в результаті дає можливість домогтися кращих метрологічних характеристик: порога чутливості, похибки вимірювань, самоходу лічильника і так далі.

У низки електронних лічильників замість барабанного типу лічильного механізму застосовують індикатор на рідких кристалах. Використовують спеціалізовані великі інтегральні схеми (BIC). Мікропроцесори дозволили створити багатофункціональні лічильники електричної енергії. Вони можуть вимірювати реактивну та активну енергію, а також напругу, струм, $\cos\phi$, запам'ятовують і контролюють графіки навантажень, відтворюють на індикаторі інформацію про схему ввімкнення лічильника і т.д. В Україні випускаються електронні лічильники, не в повному обсязі задовольняють вимогам експлуатації, таким як:

- надійність електронних елементів схеми і якість збірки лічильників;
- надійність і пиле та волого непроникність корпусу;
- захист від можливих грозових і комутаційних перенапруг, особливо в розподільчих мережах напругою 220/380 В;
- захист від несанкціонованого проникнення і вимірювання схеми включення лічильника.

1.6 Точність вимірювань електричної енергії лічильником

Точність вимірювань електричної енергії лічильником можна оцінити величиною похибки лічильника, яка визначається його порогом чутливості, систематичною складовою, точністю регулювання внутрішнього кута, самоходом, додатковими похибками.

Похибка лічильника ΔI залежить від величин $\cos \varphi$ та струму. Залежність похибки від $\cos \varphi$ та струму називають навантажувальною характеристикою лічильника.

На практиці на приєднаних з малими струмами навантаження (менше 0,5 А) та низьким $\cos \varphi$ (менше 0,5) при перевірці еталонним лічильником типу ЦЕ6806П простежуються плюсові неточності вимірювань електроенергії індукційними лічильниками до +30%. Також в аналогічних режимах окремі електронні лічильники дають негативні похибки до -8%. Ця велика розбіжність пояснюється багато в чому регулюванням компенсації тертя в індукційному лічильнику.

Поріг чутливості це найменше значення потужності, при якій лічильник здатний вимірювати електричну енергію. Для прикладу в індукційного лічильника класу точності 2 з номінальним струмом 5А крайня межа порога чутливості по струму становить 25 мА при $\cos \varphi = 1$. Для аналогічного електронного лічильника він значно менше і практично досягає 1 - 5 мА. Поріг чутливості лічильника можна оцінювати по похибці вимірювання на струмі 25 мА і $\cos \varphi = 1$ за допомогою використання еталонного лічильника типу ЦЕ6806П.

Самохід. При включенні лічильника на напругу 80 - 110% номінального (при іншому = 220 В від 176 до 242 В) з відключеним струмовим ланцюгом диск індукційного лічильника не повинен здійснювати більше одного повного оберту за час спостереження около 10 хв. Для електронного лічильника не повинні блимати індикатори основного і перевірного передавальних пристроїв.

Причини, що можуть викликати самохід індукційного лічильника в роботі:

- відсутність напруги на одній з фаз на клемній колодці лічильника;
- зворотний порядок чергування фаз напруг;

- схема включення трифазного лічильника виконана з суміщеними ланцюгами напруги та струму;
- різниця значень фазної напруги на клемній колодці трифазного лічильника, наприклад $U_A = 220 \text{ В}$, $U_B = 240 \text{ В}$, $U_C = 260 \text{ В}$;
- неправильне регулювання лічильника.

Точність регулювання внутрішнього кута індукційного лічильника активної енергії перевіряється на стенді при номінальній напрузі, струму і $\cos\varphi = 0$ для кутів фазового зсуву 90 і 270 градусів. При цьому лічильник не повинен вимірювати електричну енергію.

1.7 Схеми включення однофазних лічильників електроенергії.

Для вимірювань електричної енергії в однофазній мережі змінного струму використовують багато різних типів лічильників як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва.

Схема під'єднання однофазного лічильника електричної енергії зображена на рис. 1.4, а. Обов'язковою вимогою при ввімкненні лічильника є дотримання полярності підключення як по напрузі так і по струму.

На рис. 1.4, б зображена схема ввімкнення індукційного лічильника з зворотною полярністю в колі струму. В даному випадку зміна напрямку протікання струму в ланцюзі створює негативний момент, що обертає, і диск лічильника змушує обертатися у зворотний бік. Електронний однофазний лічильник електричної енергії в цьому випадку енергію не вимірює, і блимання індикаторів не спостерігається. Нові типи електронних однофазних лічильників мають можливість вимірювати електроенергію незалежно від полярності підключення кола струму.

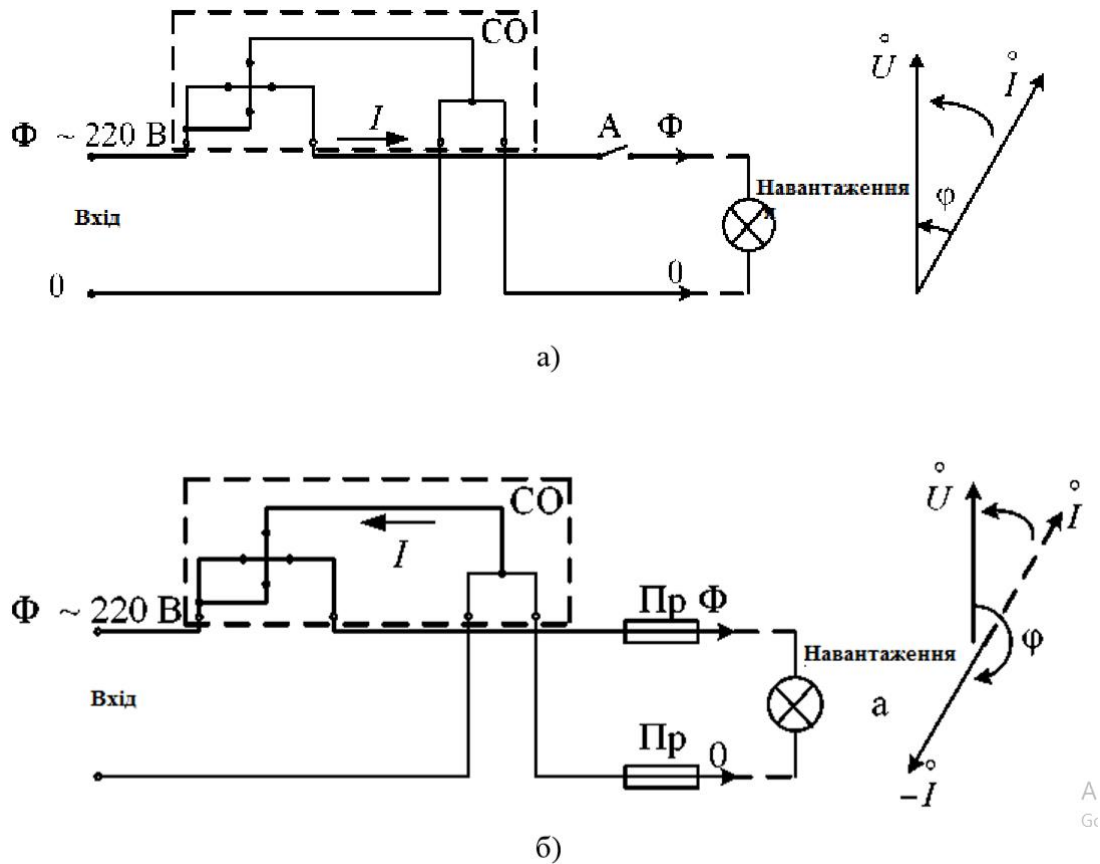


Рисунок 1.4. – Схеми ввімкнення та векторні діаграми однофазного лічильника (а), індукційний однофазний лічильник зі зворотною полярністю в колі струму (б)

На сьогодні на заводах-виробниках лічильників з метою запобігання крадіжки електричної енергії передбачається установка на однофазних індукційних лічильниках:

- другу (дублюючу) перемичку для подачі напруги на котушку, розташовану всередині корпусу;
- стопора зворотного ходу;
- друга струмова котушка в ланцюзі нульового провідника.

Крім того, кожух лічильника виконується прозорим.

1.8 Схеми приєднання трифазних лічильників в електромережах напругою 220/380 В

У трифазних чотирьох провідних мережах напругою 220/380В для вимірювань електричної енергії використовують лічильники прямого (безпосереднього) ввімкнення. Вони називаються прямоструминними. Крім того, застосовують лічильники, що підключаються до мережі за допомогою трансформатора струму (ТС). Вони називаються універсальними або трансформаторними.

Лічильники прямого ввімкнення розраховані на номінальні струми навантаження 5, 10, 20, 50 А. Підключення до кола струму даних лічильників виконується послідовно з мережевими провідниками та обов'язковим дотриманням полярності (рис. 1.5).

Виміряна енергія дорівнює різниці показань рахункового механізму за розрахунковий (обліковий) період: $\Delta W = П_k - П_n = \Delta П$.

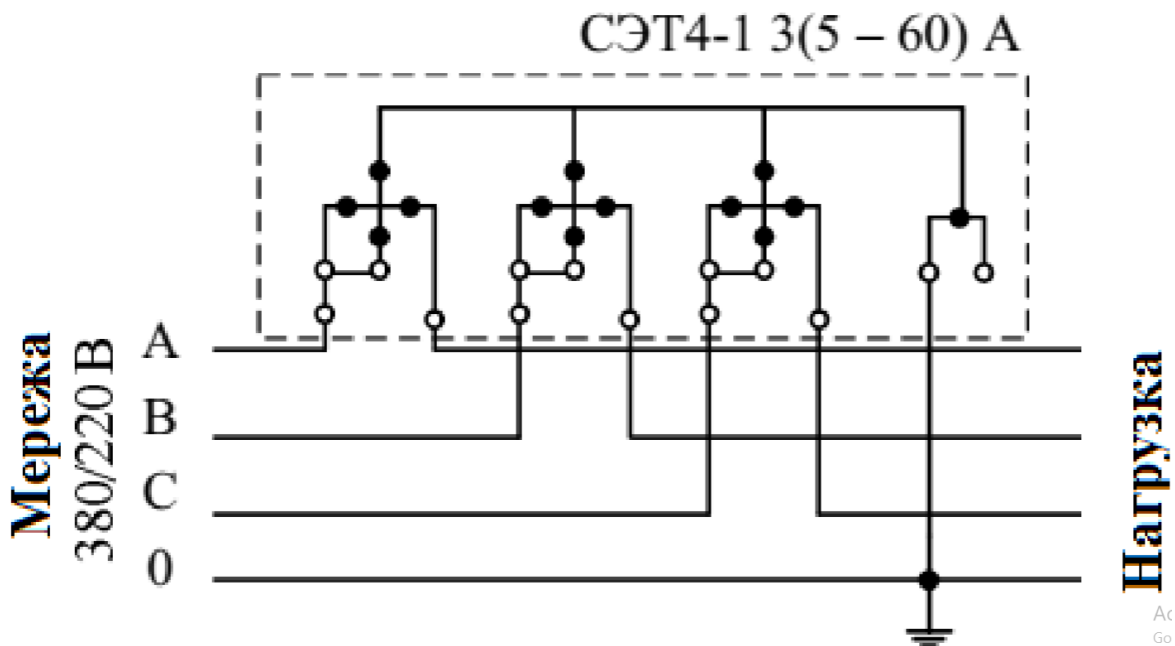


Рисунок 1.5. – Схема ввімкнення прямого лічильника типу СЭТ4-1

Підключення з зворотною полярністю однією з струмових ланцюгів лічильника може призвести до значного недообліку електроенергії. Тому обов'язкове є дотримання прямого порядку чергування фаз напруг на колодці затискачів лічильника електричної енергії. Зміна послідовності чергування фаз напруг на колодці затискачів лічильника електричної енергії виконується за допомогою зміною місць підключення відповідно двох провідників одного елемента з двома провідниками іншого елемента.

На рис. 1.6 зображені схема ввімкнення трансформаторного лічильника (а) та векторна діаграма (б), яка вказує на індуктивний характер навантаження у фазі фазового зсуву, рівного 30 градусів. Схема підключення виконується десяти провідною. Струмові кола лічильника гальвонічно не з'єднані з ланцюгами напруги, а розділені. Вимірювана електроенергія даним способом дорівнює різниці показників лічильника, помноженої на коефіцієнт трансформації:

$$W = (P_k - P_H) * k_T = \Delta P * k_T \quad (1.4)$$

Підключення всіх трьох вимірювальних елементів лічильника потребує обов'язкового дотримання полярності підключених струмових ланцюгів і відповідності їх своїй напрузі. Зворотна полярність ввімкнення первинної обмотки ТТ або його вторинної обмотки обумовлює негативний обертовий момент, що діє на диск лічильника. Дана схема забезпечує нормальну похибку вимірювань. Обов'язково потрібно підключатися до нульового проводу. Найбільш часті пошкодження які зустрічаються в схемі:

- обрив (внутрішній злам) фазних проводів напруги вторинних ланцюгів;
- окислення або ослаблення затиснутих контактів на ТТ;
- пробою ТТ.

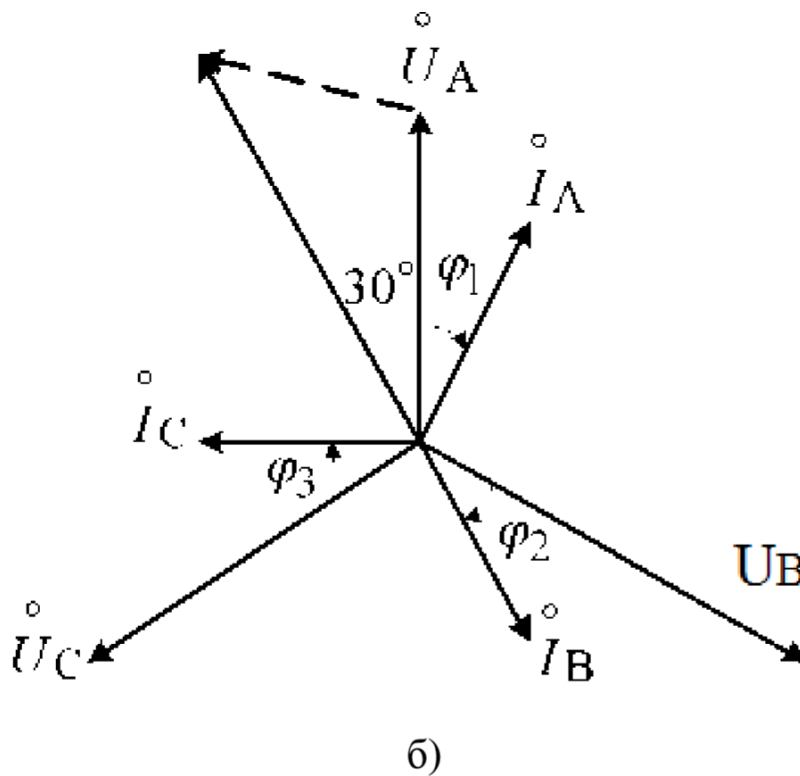
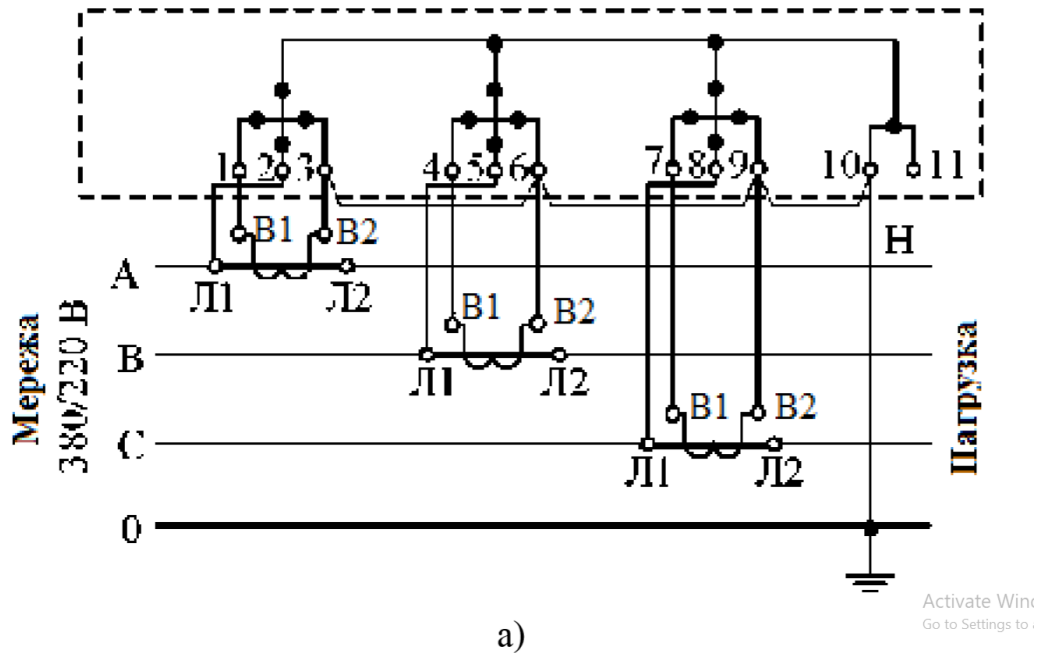


Рисунок 1.6. – Схема включення трьохелементного індукційного лічильника типу СА4У-И672М в трьох фазну мережу з роздільними ланцюгами напруги та струму (а) і векторна діаграма (б). Прямий порядок чергування фаз є обов'язковий

За необхідності зміни порядку чергування фаз три провідника з одного елемента на колодці затискачах лічильника змінюються місцями з відповідними трьома провідниками іншого елемента.

Доволі часто використовується семи провідна схема ввімкнення (рис. 1.6, а). У даній схемі використовується об'єднання ланцюгів напруги та струму. З'єднання ланцюгів напруги та струму забезпечується установкою перемичок на ТТ та на лічильнику. Схема має низку недоліків:

- пробій ТТ тривалий час не можливо виявити;
- під напругою певний час знаходяться струмові кола лічильника;
- установка перемичок І2-Л2 на ТС, і 1-2 на лічильнику спричиняє додаткову похибка вимірювань.

Прямий порядок чергування фаз обов'язковий:

Л1 - В1 - перемички, встановлені на ТС;

1 - 2; 4 - 5; 7 - 8 - перемички, встановлені на лічильнику.

1.9 Принцип роботи АСКОЕ

Автоматизована система комерційного обліку електричної енергії являє собою інформаційно-обчислювальну систему зі централізованим керуванням та розподіленою функцією вимірювання, вона створюється як багаторівнева ієрархічна автоматизована система.

Перший рівень являє собою рівень збору інформації. Оскільки основним завданням автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії є збір, обробка, вимір, накопичення інформації про переданої, розподіленої, відпущеної та отриманої енергії, робота системи розпочинається із збору даних з лічильників,

під'єднаних до точок комерційного обліку на відповідних об'єктах енергосистеми через вимірювальні ТС.

Даний перший рівень складається із вимірювального інформаційного комплексу точок вимірювання електричної енергії. Його призначення полягає для проведення вимірювань спожитої електричної енергії та включає в себе лічильники і інші пристрої, що здатні вимірювати параметри системи. Для прикладу таких пристроїв можуть використовуватись певні датчики: в яких наявний вихід для підключення інтерфейсу RS-485, так інші датчики, що підключені до системи за допомогою спеціальні аналого-цифрового перетворювача.

Можна використовувати не лише електронні лічильники електричної енергії, але і звичайні індукційні, укомплектовані перетворювачами кількості обертів диска в електричні імпульси.

Другий рівень являє собою сполучний рівень. Він включає в себе інформаційний обчислювальний комплекс та складається з каналів зв'язку з лічильниками й комунікаційного обладнання (засобів прийому та передачі даних). На даному рівні використовуються різні контролери, потрібні для передачі сигналу. Пристрої збору і передачі даних (УЗПД) використовують для збору даних з лічильників електричної енергії вони виконують цілодобовий збір інформації з первинних вимірювальних приладів (ПВП), а також виконують обробку, накопичення та передачу цих даних по каналах зв'язку на верхній рівень центру збору інформації.

Третій рівень являє собою аналізу, збір та зберігання інформації. Комплекс центру збору виконує перевірку достовірності, прийом та первинну підготовку інформації. Оброблені дані потрапляють до бази даних, яка призначена для ведення архівів виміряних величин енергії, показників якості електричної енергії та

потужності. Одним із основних елементом цього рівня є ПК, сервер або контролер. Сервер центру збору та обробки даних першого рівня - виконує збір інформації з УСПД та повністю обробляє дану інформацію. Сервер центру збору та обробки даних другого рівня - зчитує інформацію із групи серверів попереднього рівня, а також забезпечує структурування та агрегування інформації, відображення даних обліку та документування. Головною вимогою до обладнання даного рівня є наявність спеціалізованого програмного забезпечення для налаштування елементів системи. Програми обробки даних надають можливість виводу інформації для аналізу в графічному й табличному вигляді, в різних часових проміжках. Всі рівні автоматизованої системи комерційного обліку пов'язані між собою каналами зв'язку.

На рис. 1.7. представлена структурна схема АСКОЕ.

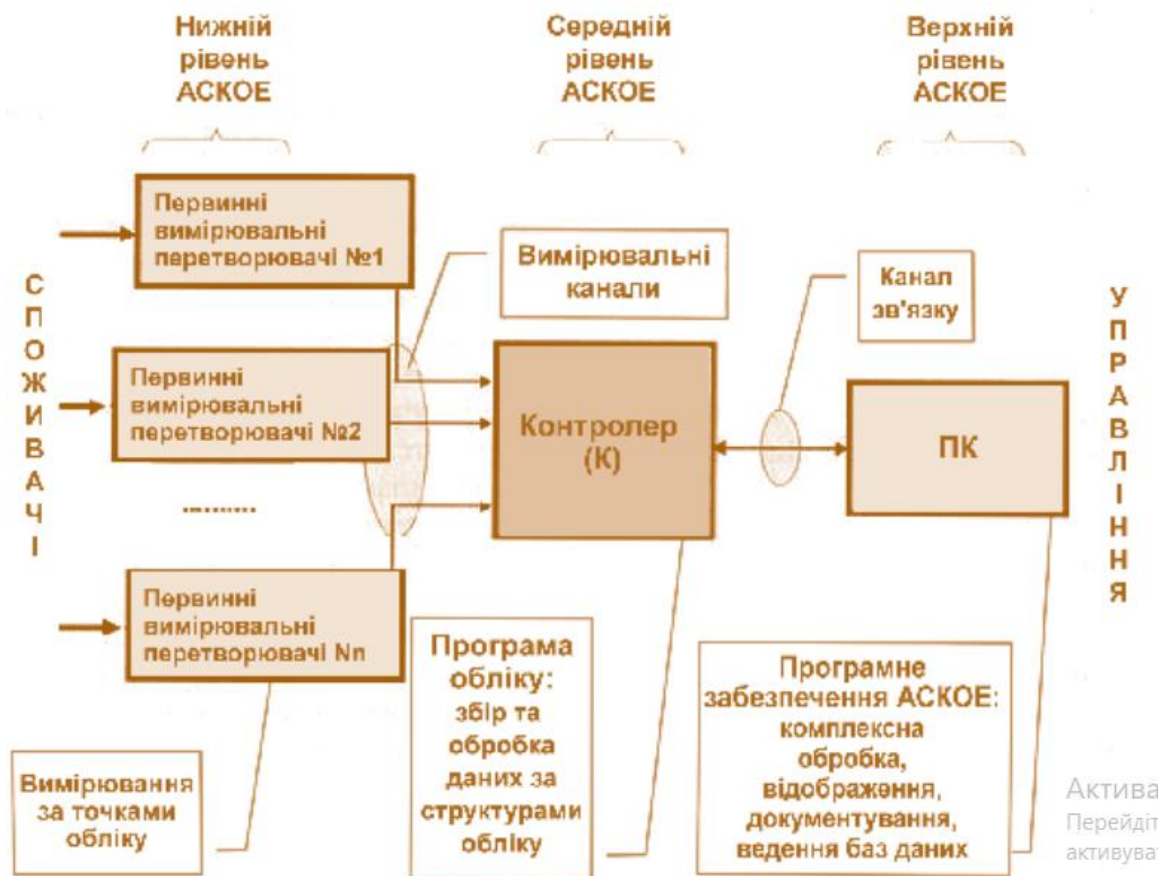


Рисунок 1.7 – Блок-схема побудови трирівневої систем АСКУЕ

1.9.1 Будова системи АСКОЕ із можливістю опитування лічильників електричної енергії за допомогою оптичних портів

Одна з найпростіших систем будови автоматизованих систем комерційного обліку електричної енергії. Прилади обліку не зв'язані між собою, а також відсутній зв'язок між центром збору даних і самими лічильниками. Опитування лічильників забезпечується методом обходу їх контролером в послідовному порядку. Результати звіту обходу (опитування) створюється на ПК за допомогою програмно-апаратних засобів. Саме опитування проводиться через оптичний порт приєднаний до приладу обліку та ПК.

В центрі збору даних на ПК потрібно використовувати спеціалізовані програмні модулі, які генерують файл-завдання на обхід та завантажують результат опитування лічильників електричної енергії в загальну базу даних.

Синхронізація часу переносного комп'ютера та лічильників відбувається в період опитування лічильника переносним ПК. Відповідно, синхронізація за часом переносного ПК здійснюється зі часом центру збору даних в момент прийому файлів-завдань на опитування лічильників та вивантаження результатів опитувань.

До вагомих недоліків такого способу організації автоматизованої системи комерційного обліку належать:

- неможливість застосування лічильників з імпульсним виходом;
- велика трудомісткість на збір результатів.

Головним способом економії при створенні такої системи АСКОЕ в даній варіації, є покладання задач центру збору даних на переносний ПК.

Задачі, що вирішує система АСКОЕ створена з застосуванням опитування лічильників через оптичний порт:

- формування звітів по обліку електроенергії та обробка даних;
- підтримку єдиного системного часу;
- опис електричних з'єднань об'єктів та їх характеристик;
- діагностика лічильників;
- моніторинг електроспоживання за точками та об'єктах обліку в заданих інтервальних межах (30 хвилин, зони, зміни, добу, декади, місяці, квартали і роки) щодо заданих лімітів і технологічних обмежень потужності;
- технічний та комерційний облік електричних ресурсів на підприємстві, його інфраструктурних елементах (цехи, котельня, підрозділи субабоненти та інші);
- повнота одержуваних даних;
- параметри споживання й постачання.

Будова автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії з проведенням опитування лічильників переносним ПК з використанням перетворювача інтерфейсів, модему або мультиплексора зображена на рис.1.8.

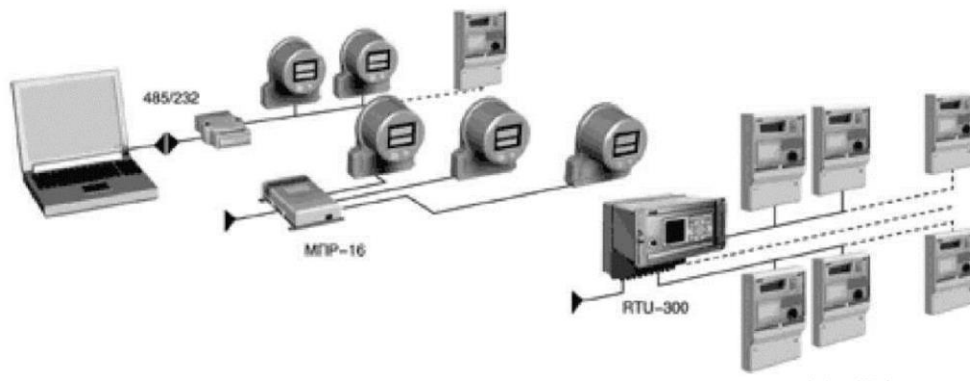


Рисунок 1.8. – Структурна схема АСКОЕ з опитуванням через мультиплексор

Лічильники електричної енергії, об'єднані по інтерфейсу "струмова петля" на мультиплексом (типу МПР-16) або спільною шиною RS-485, або ПЗПД можуть розташовувати в різних розподільчих пристроях та опитуватись один або кілька разів протягом місяця через програми розміщеної на ПК, яка генерує файл результатів опитування. Між центром збору даних та лічильниками немає постійного стабільного зв'язку. ПЗПД виконує роль комунікаційного сервера.

На персональному комп'ютері центру збору інформації потрібні програмні модулі, які генерують файл завдання на опитування та завантажують дані в основну базу даних. Синхронізація часу лічильників відбувається в момен опитування з часом переносного ПК. Синхронізація часу переносного ПК зі часом центру збору даних відбувається в процесі прийому файлів завдань на опитування лічильників електричної енергії. Відведений ПК для центру збору даних в даному випадку теж може бути відсутнім, його роль може виконувати переносний ПК.

1.9.2 Організація АСКОЕ з проведенням автоматичного опитування лічильників локальним центром збору та обробки даних

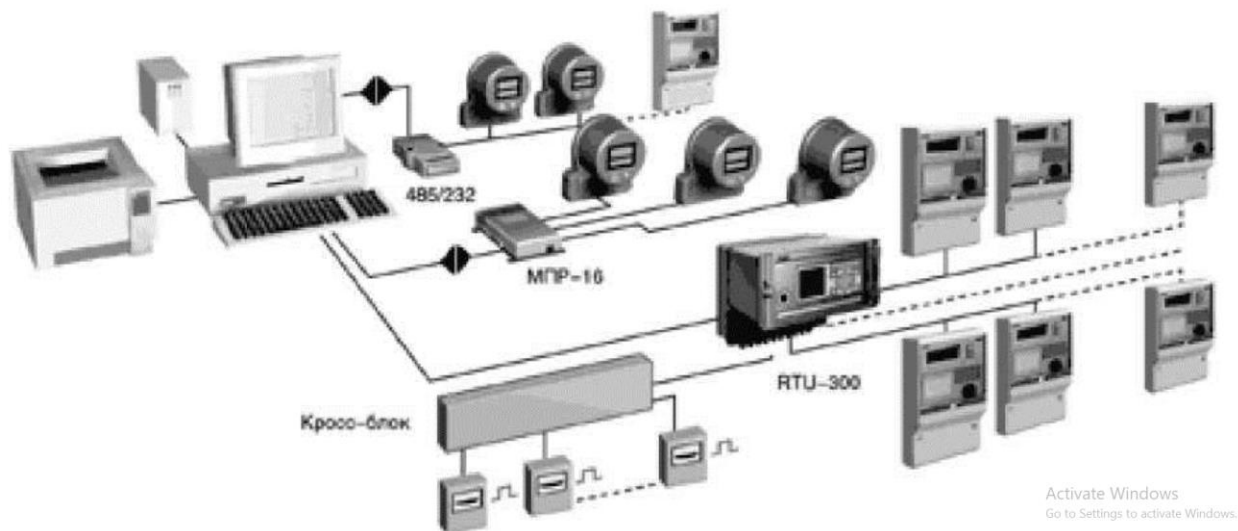


Рисунок 1.9 – Структурна схема будови АСКОЕ із локальним центром збору даних

Лічильники постійно зв'язані із центром збору даних напряму з каналами зв'язку та опитуються згідно до заданого графіку опитування. Первинні дані із лічильників записується в базу даних. Синхронізація часу лічильників електричної енергії відбувається у момент опитування із часом сервера центру збору даних. Як ПК центру збору даних використовується локальна ПЕОМ. За допомогою неї також відбувається обробка даних та ведення бази даних.

В залежності від кількості користувачів, складності математичної обробки, кваліфікації користувачів, кількості лічильників та інтервалів їх профілю і т.д. локальна база даних може функціонувати або під СУБД ORACLE8.X, або під MS Access. Збір даних в базу даних відбувається періодично згідно з заданими інтервалами.

Організація автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії із проведенням автоматичного опитування лічильників локальним центром збору й обробки даних дає змогу вирішувати наступні задачі:

- фіксація відхилень контрольованих параметрів енергоресурсів, та їх оцінка в відносних й абсолютних одиницях за для аналізу як енергоспоживання, так і виробничих процесів;
- опис електричних приєднань об'єктів та їх характеристику;
- характеристик опитування та параметризація комунікацій;
- точне вимірювання параметрів споживання/ поставки;
- обробка даних і формування звітів по обліку електроенергії і контролю ПЯЕ;
- сигналізація (кольором, звуком) про відхилення контрольованих величин від допустимого діапазону значень;

- діагностика повноти даних;
- діагностика системи;

1.10 Досвід зарубіжних країн впровадження АСКОЕ

Електричні мережі сучасного покоління повинні забезпечувати на технологічному рівні об'єднання виробників та споживачів електроенергії в одну автоматизовану систему, яка дає можливість в режимі on-line контролювати та відслідковувати режими роботи усіх учасників процесу передавання, виробництва та споживання електроенергії, у автоматичному режимі моментально реагувати на відхилення параметрів у енергосистемі і здійснювати електропостачання із необхідною економічною ефективністю та надійністю. Завдяки впровадженню автоматизованих технологій електрична мережа дає змогу залежно від ситуації міняти свої характеристики, шляхом збільшення за рахунок автоматичного регулювання пропускну можливість та якість постачання електроенергії, особливо актуально в умовах розвитку відновлюваних джерел енергії в електромережах.

Однією із складових раціонального використання електричних ресурсів є оснащення існуючих розподільчих мереж сучасними автоматизованими пристроями контролю, моніторингу та обліку енергоспоживання, об'єднану в єдину інформаційну мережу (система Smart Metering), яка створює умови для ефективного використання електричних ресурсів [7].

У зарубіжному досвіді є гарні приклади підвищення ефективності передачі електроенергії за допомогою сучасних технологій. Одним із таких прикладів є компанія Siemens, яка вирішила проблему перевантаженості електричних мереж Сан-Франциско через впровадження автоматизованої системи HVDC (установок постійного струму), що в результаті дало змогу відмовитись від будівництва нових генеруючих потужностей в центрі мегаполіса.

Розвиток технології АСКОЕ в електричних мереж викликаний не тільки вимогами підвищення енергозбереження та енергоефективності, але і необхідністю регулювання режимами роботи енергосистем за умови зростання частки альтернативної енергетики у Європі та інших регіонах світу [8]. Головною особливістю відновлюваних джерел електроенергії, особливо сонячних та вітряних електростанцій, є важкопрогнозоване й нерівномірне надходження енергії в мережу. Дані АСКОЕ допомагають мережам оптимізувати режими роботи енергосистем із великим числом малопотужних електростанцій із не стабільним в часі обсягами генерації. За оцінкою експертів впровадження технологій АСКОЕ дозволить оптимізувати існуючі процеси та знизити викиди парникових газів (CO₂) до 2025 р. більш ніж на 1 млрд. тонн.

Технології АСКОЕ мають розширену функціональну можливість переходу від управління за фактом аварійного порушення електропостачання до запобігання пошкодження елементів мережі, що забезпечує підвищення інформаційної та енергетичної безпеки. Дана нова концепція розвитку електричних мереж із урахуванням впровадження нових інформаційних технологій забезпечує потрібний рівень якості та надійності енергопостачання у різних цінових сегментах. Окрім того, через ці технології покращується мотивація активності кінцевих споживачів до самостійного регулювання характеристики та обсягу електропостачання (рівень надійності, якості, обсяги енергоспоживання, тощо) на підставі балансу особистих запитів та можливостей енергосистеми із використанням даних про параметри цін, обсяги рівень надійності, якості місцевої та централізованої генерації тощо. Використання зазначених технологій стимулює збільшенню ринків електроенергії й потужності із включенням в їхню діяльність кінцевих споживачів та наданням їм відкритого доступу на ринки й до систем генерації, яка сприяє підвищенню ефективності і результативності роздрібного енергетичного ринку.

На даний момент в світовій енергетичній сфері реалізується певний ряд проектів на впровадження систем Smart Metering (інтелектуального обліку) [9]. Станом на сьогодні Нова Зеландія уже повністю перейшла на 100% використання «розумних» лічильників електроенергії, Австралія, Китай у свою чергу планують досягти до 100% оснащення споживачів «розумними» приладами обліку у найближчі 3 роки. У Великій Великобританії на державному рівні прийнято Кодекс розрахунків і балансування в енергетичній сфері країни. Відповідно до нього компанія ELEXON (дочірня компанія оператора системи магістральних мереж National Grid Elexon) виконує адміністрування механізмів розрахунків та балансування на ринку електроенергії країни. В більшості країн ЄС впроваджується програми розвитку і сучасні автоматизовані системи обліку та інші складові «інтелектуальних систем».

Заслужовують особливої уваги плани реалізації систем «розумного» обліку у різних куточках світу. Зокрема, досвід ЄС, який кожного року спрямовує більше 1,2 млрд євро на дослідження в сфері розвитку АСКОВ та інших систем обліку.

Першою почала впроваджувати «розумні» системи обліку електроенергії Швеція, потім Норвегія, Ірландія, Нідерланди, Франція, Іспанія, Італія, Великобританія та Фінляндія. Шведські електричні компанії реалізували сьогодні «розумними» лічильниками практично всіх споживачів електроенергії у державі. В Норвегії регулятор в сфері енергетики зобов'язує енергетичній компанії закінчити реалізувати такі пристрої до кінця 2020 р. У певних країнах на державному рівні прийнято та впроваджуються конкретні програми (плани) оснащення електричних мереж сучасними АСКОВ (рис. 1.10). Для прикладу, масштабні роботи проведено в Франції – за два роки (2012 і 2013) було встановлено більше 30 млн. «розумних» приладів обліку. В Сполучених Штатах Америки з 2009 р. по 2015 р. було встановлено около 60 млн. подібних приладів, в Іспанії відповідно до постанови

уряду держави від 2008 року всі споживачі електричної енергії вже оснащені «розумними» приладами. При цьому кожна країна Європейського Союзу визначила відповідні завдання із врахуванням національних інтересів.

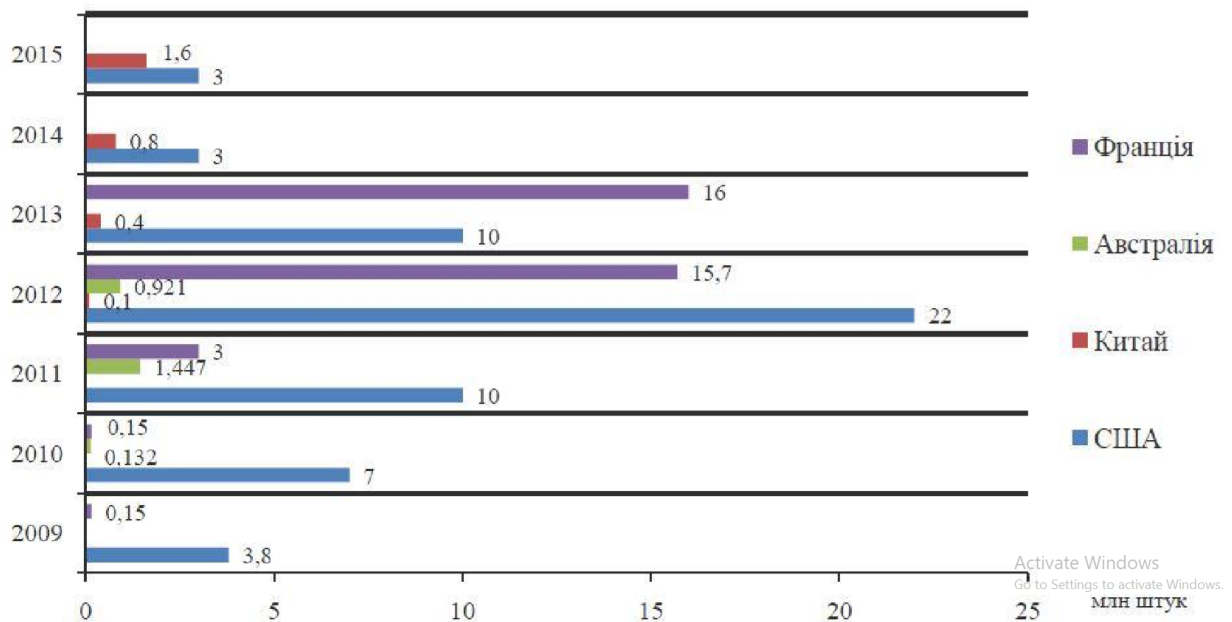


Рисунок 1.10 - Кількість встановлених інтелектуальних приладів обліку в окремих країнах

На розвиток АСКОВ в країна Євросоюзу до 2025 року закладено понад 30 млрд. дол. Згідно з третім енергетичним пакетом Євросоюзу у ЄС діє програма розвитку «інтелектуальних» мереж «Технологічна платформа Smart Grid для Електричних Мереж Майбутнього в Європі», згідно з якою 80% європейських споживачів до 2020 р. мають бути оснащеними «розумними» лічильниками, а до 2022 р. – 100% споживачів.

Європейські компанії постійно покращують технології трансформації, передавання та оперативно-диспетчерського обліку електроенергії. Метою удосконалення у мережах незалежного оператора Європейського Союзу (ENTSO-E) до 2025 року є зменшення обсягів втрат та споживання електроенергії на 20%. Для

цієї мети, за прогнозом інвестиційного банку Сполучених Штатів Америки Goldman Sachs, в розвиток електричних мереж потрібно інвестувати 187 млрд. дол. У цілому по країнах-членах Європейського Союзу за період з 2008 по 2014 роках. було встановлено більше 400 млн. одиниць новітніх систем обліку електричної енергії (рис. 1.11).

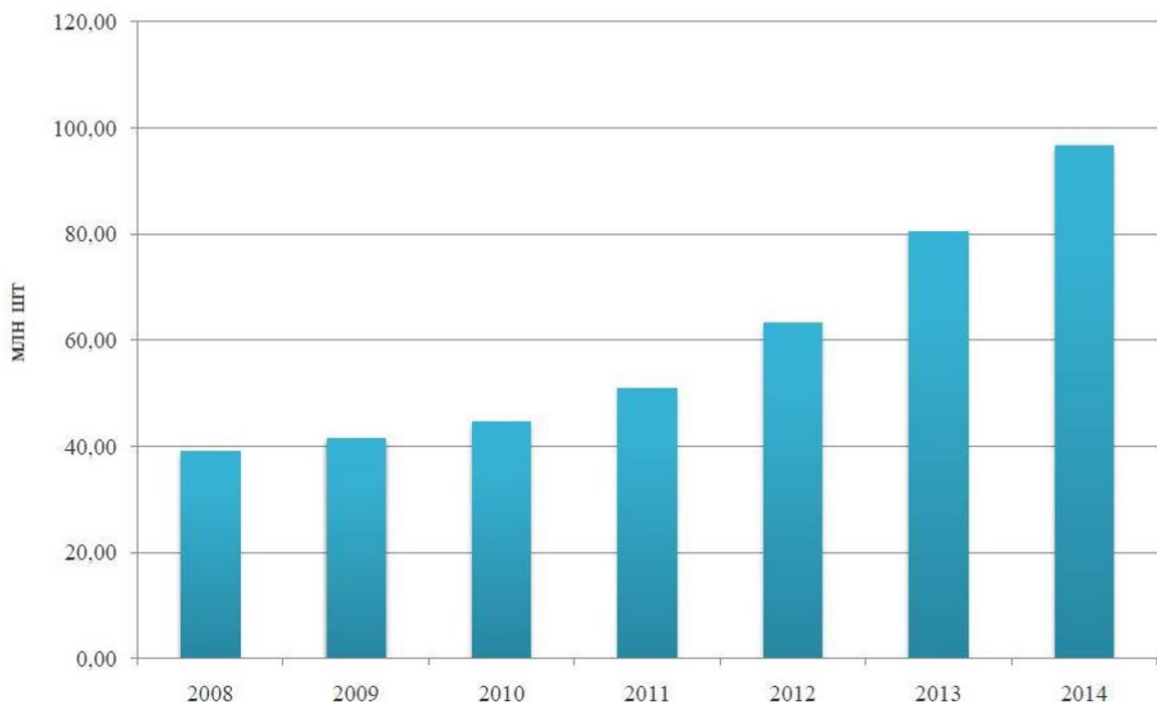


Рисунок 1.11 - Кількість встановлених "розумних" лічильників в країнах ЄС

Потрібно відзначити досвід участі уряду Великобританії у впровадженні сучасних систем – інтелектуальних вимірів. Британським урядом прийнята та впроваджується Національна Програма «Smart Metering Implementation Program Prospectus», якою визначено план дій реалізації «розумних» лічильників у абонентів середнього та малого бізнесу. Урядом запропоновано почергову реалізацію програми з першим етапом впровадження сучасних систем обліку з 2016 р. Передбачається також до 2025 р. встановити 26 млн. «розумних» лічильників в домашніх домогосподарствах.

1.11 Необхідність впровадження АСКОЕ в Україні

Однією із найголовніших проблем, які стоять перед енергетикою України, є організація достовірного та точного комерційного обліку електричної енергії та потужності на роздрібному та оптовому ринках електричної енергії. Впровадження ринкових відносин необхідне якісне нові технічні та програмні засоби обліку, передавання, моніторингу, систем контролю та оброблення інформації [10].

В Україні реформування оптового ринку електричної енергії (ОРЕ) пов'язане із упровадженням моделі ринку двосторонніх договорів, балансуючого ринку електроенергії й на подальшому етапі – біржі електричної енергії. Реформований (лібералізований) оптовий ринок електричної енергії не зможе ефективно працювати без впровадження АСКОЕ та моніторингу виробництва, споживання та постачання електричної енергії в режимі on-line.

Необхідність швидкого завершення роботи по реалізації АСКОЕ на ОРЕ України обумовлено значним небалансом обліку спожитої і виробленої електричної енергії, яка спричиняє додаткові втрати електричної енергії. Це обумовлено й тим, що велику кількість точок обліку електричної енергії до впровадження сучасних АСКОЕ було оснащено різними за класами й типами точності приладами обліку, більша половина з них застаріла фізично та морально. Крім цього около 40% точок обліку електроенергії не має дублюючих лічильників.

Згідно Угоди між Урядом України та Європейською Комісією щодо покращення системи обліку на українському ОРЕ передбачено впровадження проекту «Створення автоматизованої системи обліку (АСОЕ) для оптового ринку електроенергії». Впровадження зазначеного проекту створить умови для:

- забезпечення комерційного обліку активної та реактивної електричної енергії відповідно до вимог ОРЕ щодо погодинного обліку електричної енергії на

межі балансової належності суб'єктів ринку електроенергії (оператор магістральних, генеруючі компанії і міждержавних електромереж і обленерго);

- підвищення достовірності і точності комерційного обліку електроенергії серед суб'єктів ОРЕ;

- підвищення оперативності керування режимами переданої, виробленої та відпущеної електричної енергії, а також покращення комерційних розрахунків на ОРЕ;

- зниження витрат на постачання та передавання електричної енергії за рахунок підвищення точності обліку й максимального скорочення нетехнічних (комерційних) втрат.

Система обліку та її окремі компоненти повинні відповідати вимогам міжнародної та української сертифікації для здійснення комерційних розрахунків.

Відповідно до постанов НКРЕ України від 15.07.2010 р. №№ 815 - 820 про внесення змін до Умов і Правил здійснення підприємницької діяльності з виробництва та постачання електричної енергії купівля-продаж електроенергії на ОРЕ має здійснюватися з використанням даних, отриманих із АСКОЕ головного оператора та суб'єктів оптового ринку електроенергії.

Відповідно до цього ДП «Енергоринок» України та суб'єкти ОРЕ зобов'язані привести свою діяльність у відповідність до вимог зазначених постанов НКРЕ. З метою забезпечення підготовки до розрахунків з купівлі-продажу електроенергії в ОРЕ з використанням даних, отриманих із АСКОЕ, станом на кінець першого кварталу 2019 р. проведено значну роботу щодо впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії, зокрема:

Висновок до розділу

У першому розділі проведений аналіз і огляд існуючих засобів і методів технічного й комерційного обліку електроенергії. Проаналізовані недоліки використання чинних систем обліку індукційними або електронними лічильниками. Виявлено що даний метод поступається у можливостях автоматизованій системі АСКОЕ своєю точністю та іншими параметрами.

Розглянуто також принцип роботи автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії як із можливістю опитування лічильників електричної енергії за допомогою оптичних портів так і з проведенням автоматичного опитування приладів обліку локальним центром збору та обробки даних. Було проаналізовано зарубіжний досвід по впровадженню АСКОЕ та необхідність впровадження даної системи і в Україні, що підкріплено різними урядовими постановами та нормативними документами.

2 МЕТОДИ МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ.

2.1 Класифікація і огляд методів прогнозування.

Метод прогнозування являє собою влаштований на створення прогнозної моделі спосіб дослідження об'єкта відносно якого потрібне прогнозування.

Із класифікації існуючих методів прогнозування, обираємо оптимальний метод прогнозування для побудови за допомогою нього прогнозної моделі електричного споживання промислового підприємства(рисунок 2.1).

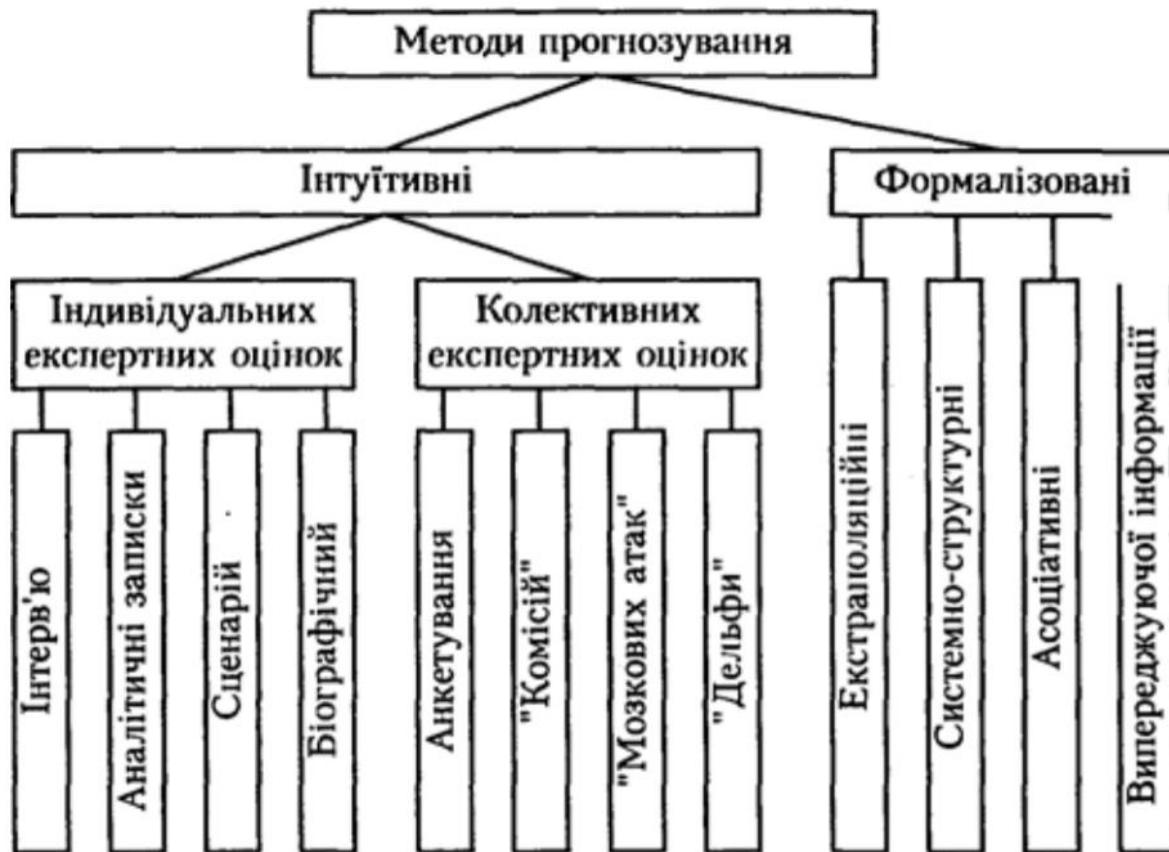


Рисунок. 2.1- Схема класифікаційна методів прогнозування

За прогнозами зарубіжних і вітчизняних дослідників, кількість різних прийомів, методик та методів прогнозування досягла 150. Але кількість фундаментальних методів, які повторюються у різних варіаціях у інших методиках, не більше 10. Прогнозування об'єктів і специфіка вихідної інформації вимагає вибору відповідного методу прогнозування. Під методикою прогнозування розуміється сукупність способів прогнозування, що дають змогу на основі ретроспективних даних, відомих внутрішніх і зовнішніх зв'язків підсистем. Із великої кількості факторів методів прогнозування і наявних класифікаційних ознак визначають взяті ознаки, які характеризують спосіб перетворення прогнозних даних і природи знань, що лежать у підставі прогнозу [10, 11, 12].

За вибором відповідного метода прогнозування, впливають наступні фактори:

- поведінка прогнозованого процесу;
- потрібна форма прогнозу;
- період і інтервал прогнозування;
- розуміння і співпраця диспетчерів (або персоналу).
- необхідна точність;
- доступність даних;

Прогнозування електричного споживання маси підприємств на сьогодні повністю або частково виробляється через інтуїтивні методи прогнозу. В ролі експертів виступають працівники служби головного енергетика підприємства, які відповідають за подачу та формування заявок на споживання електричної енергії. За умови досить високої кваліфікації працівників прогноз може бути доволі точним, а при навпаки низькій кваліфікації працівників - величина неточності прогнозу може

сягати суттєвих значень. Дуже сильно якість прогнозу залежить від кваліфікації працівників, що дозволяє стверджувати, що інтуїтивні методи у загальному не підходять для створення на їх основі прогнозних моделей електричного споживання промислових підприємств та заводів, через те що вони не забезпечують достатню точність й практично не піддаються автоматизації.

Втім слід зазначити, що інтуїтивні методи прогнозування, а саме методи колективних експертних оцінок, необхідні в процесі створення прогнозної моделі електричного споживання на базі формалізованих методів. В такому випадку методи експертних оцінок варто використовувати для аналізу структури електричного споживання та виділення певних параметрів, що впливають на нього [11]. Завдяки інтуїтивним методам при створенні прогнозної моделі електричного споживання промислового підприємства можливо визначити оптимальний набір їх вхідних параметрів і ступінь їх впливу на вихідний параметр.

- споживання електроенергії більш правильно визначати за допомогою формалізованих методів.

Аналіз досліджень й джерел [12, 13], до формалізованих методів прогнозування у залежності від загальних принципів дії можна віднести:

- математичні методи;
- методи асоціативності;
- методи екстраполяції;
- структурно-системні методи.

До групи методів прогнозної екстраполяції можна віднести методи експоненціального згладжування, найменших квадратів, адаптивного згладжування та ймовірнісного моделювання. До групи структурно-системних методів можна

включити методи матричний метод, функціонально-ієрархічного моделювання та морфологічного аналізу. До математичних методів можна віднести метод групового обліку аргументів, кореляційно-регресійний аналіз, варіаційні методи, факторний аналіз. Асоціативні методи можна розділити на методи архаїчного аналізу та імітаційного моделювання.

Формалізовані методи мають наступні переваги:

- незалежність від суб'єктивних факторів (як у випадку з інтуїтивним прогнозом);
- прогнозування формалізованими методами доволі непогано інтегруються в автоматизацію.

Найбільш оптимальними можуть бути інші концепції побудови прогнозної моделі електричного споживання промислового підприємства (2 принципи):

1. Конфігурація прогнозної моделі (визначення набору вхідних параметрів, від яких буде залежати електричне споживання) повинно здійснюватися за допомогою інтуїтивного методу прогнозування (експертної оцінки).
2. В основі прогнозної моделі повинен лежати один з формалізованих методів прогнозування.

2.2 Головні методики прогнозування часових рядів

Часовий ряд являє собою послідовність значень певної величини в різні моменти часу [14].

Споживання електроенергії будь-яким об'єктом (підприємством промисловим, цехом, , енергооб'єднанням і тому подібне) є тимчасовим рядом, тому що являє собою ряд миттєвих значень споживаної потужності у різні періоди часу або обсягів споживаної електричної енергії за послідовний ряд інтервалів часу.

До найбільш розповсюджених формалізованих методів прогнозу часових рядів відносяться:

- прогнозування з використанням штучних нейронних мереж;
- прогнозування на базі ARIMA моделей;
- прогнозна екстраполяція;
- адаптивні методи прогнозування;
- прогнозування із використанням гібридних систем;
- кореляційний і регресійний аналіз.

2.3 Шляхи зменшення витрат електроенергії та розміру оплати за електроенергію

1. Розрахунок за спожиту електричну енергію за наявності економічного ефекту по тарифам, диференційованими за періодами часу.

2. Проведення внутрішньозаводських розрахунків між структурними підрозділами за електричну енергію.

АСКОЕ зменшує технологічну частину споживання електричної енергії промислового підприємства, пов'язану з неефективністю використання устаткування і порушенням технологічного циклу [3].

3. Постійний моніторинг виробітку та витрат реактивної електричної енергії у структурних підрозділах та на підприємстві в цілому.

АСКОЕ має можливість розраховувати у режимі on-line оптимальну потужність компенсуючих установок перетікання реактивної потужності у електромережі промислового підприємства. За даними АСКОВЕ за розрахунковий період визначаються відхилення від оптимальних значень, визначаються реактивні

потужності підстанцій і обираються регулюючі впливи на компенсуючі прилади. Основне завдання в цьому випадку – зменшити перетікання реактивної потужності на межі балансового розподілу електромереж споживача й енергопостачаючої компанії та не допустити генерації реактивної потужності у мережу.

4. Розрахунок у режимі on-line або за запитом втрат електричної енергії в елементах електромережі згідно формул, вказаних в [9].

5. Розробка процедури проведення короткочасного, оперативного прогнозування електричного навантаження. Це дасть змогу уникнути перевищення узгодженого розрахункового електричного навантаження на підприємстві. Прогнозування можа виконати, як економіко-математичними методами (наприклад, методом експоненціального згладжування [7]), так і методом нейронних мереж [8]. По кожному приєднанню технічного обліку електричної енергії (найбільш доцільно це для найбільш потужніших приєднань) потрібно розрахувати максимальну величину електричного навантаження. Це дасть можливість точно отримувати значення розрахункового максимуму для точки комерційного обліку електричної енергії.

6. Перевірка якості роботи технологічного або оперативного персоналу шляхом порівняння питомих норм витрат електричної енергії на одиницю випущеної продукції або іншого паливно-енергетичного ресурсу (ПЕР) за кожну зміну, добу, тиждень тощо.

7. Розрахунок в режимі on-line втрат на власні потреби на підстанціях промислового підприємства [10].

8. Об'єднання АСКОЕ із системами управління ресурсами промислового підприємств, задля впровадження на виробництві системи контролю та оперативного планування енергоресурсів (КиОП). Після збору інформації, від яких

залежить обсяг споживання ПЕР, даних об'єму виробленої продукції і обсягу спожитої сировини система КіОП повинна створити математичну модель енергоспоживання об'єкта, обраховувати групові «стандарти» та індивідуальні оптимального споживання електричної енергії. Докладніше ці питання розглянуті в роботах [11,12].

9. Зведення балансів на підстанціях промислового підприємства із метою знайдення небалансів, невиробничих втрат з метою їх подальшого усунення.

10. Підтримка процесів впровадження і подальшого супроводу енергозберігаючих технологій й заходів в тому числі енергетичного аудиту, а також реалізації керуючих впливів у рамках впровадження систем енергетичного моніторингу і енергетичного менеджменту [13,14].

Балансовий метод є головним способом достовірності і виявлення похибок вимірювання електричної енергії. Ідея методу полягає у порівнянні значень фактичного і допустимого небалансів електричної енергії на всій секції шин або підстанції [15].

Фактичний небаланс в процентах $НБ_{\Phi}$ розраховується відповідно показників приладів обліку, як різниця між електричною енергією, що поступили на об'єкт W_n і відпущеною електричною енергією W_o . Крім того, враховуються виробничі, власні й господарчі потреби об'єкту W_H , а також технічні втрати у елементах устаткування ΔW_{mex} за формулою (2.1):

$$НБ_{\Phi} = \frac{W_n - W_o - W_H - \Delta W_{mex}}{W_n} 100\% \quad (2.1)$$

Значення допустимого небалансу електричної енергії у відсотках $НБ_{\sigma}$ розраховуються за формулою, яка враховує максимально допустимі відносні похибки δ_{Wi} кожного вимірювального каналу, а також частку електричної енергії

d_i , що поступила по всім вимірювальним каналам прийому електричної енергії Nn і частку електричної енергії d_j , що поступила по всіх вимірювальних каналах віддачі електроенергії $N0$ з енергооб'єкту:

$$НБ_{\sigma} = \pm \sqrt{(\sum_{i=1}^{Nn} \delta_{Wi}^2 d_i^2 + \sum_{j=1}^{N0} \delta_{Wj}^2 d_j^2) * 100\%} \quad (2.2)$$

Максимально допустима відносна похибка вимірювального каналу вираховується за наступною формулою (2.3):

$$\delta W_i = \sqrt{\delta_I^2 + \delta_U^2 + \delta_{Лч}^2 + \delta_{Л}^2} \quad (2.3)$$

де δ_U , δ_I , $\delta_{Лч}$, $\delta_{Л}$ - похибки трансформатора напруги (ТН), трансформатора струму, лічильника та втрати між ТН та лічильником відповідно.

У разі, коли $НБ_{\phi}$ не перевищує $НБ_{\sigma}$, облік електричної енергії може бути визнаний достовірним. В протилежному випадку облік є недостовірним, та персонал підстанції зобов'язаний вияснити причини небалансу і вжити заходи з їх усунення.

Потрібно розраховувати небаланс по кожній секції лінії 6, 10 або 110 кВ головних понижуючих підстанцій і розподільних пунктів з урахуванням класів точності і кількості приладів обліку, технічного обліку та комерційного обліку [15].

11. Використання систем АСКОЕ, які зобов'язані враховувати всі можливі співвідношення перетікань в заданих тимчасових проміжках в умовах складних схем електричного постачання із змінними напрямками перетікань реактивної потужності.

Мінімізація оплати за перетікання реактивної електричної енергії для складних структурованих електропостачальних систем промислового підприємства зі змінними напрямками перетікань реактивної потужності із трьохфазними силовими трансформаторами з розщепленими обмотками або трьохобмоточними, у яких

рамки балансового розподілу знаходиться на стороні високої напруги силових трансформаторів, а прилади обліку встановлені на стороні низької або середньої напруги [8].

На рисунку 2.2 зображено концептуальний приклад такої схеми, де приладовий облік встановлений на стороні низької напруги живлячого трансформатора (секції I, II, III, IV), на кожній секції присутні режими споживання і (або) генерації реактивної потужності та можливі внутрішні зрівнювальні перетікання WQ_y , які не включені у мережу електропостачальної компанії. Дані зрівнювальні перетікання двічі враховуються приладовим обліком (по одній секції в режимі генерації, по іншій - споживання). В звичайних умовах обліку фіксувати величини зрівнювальних перетікань не має змоги.

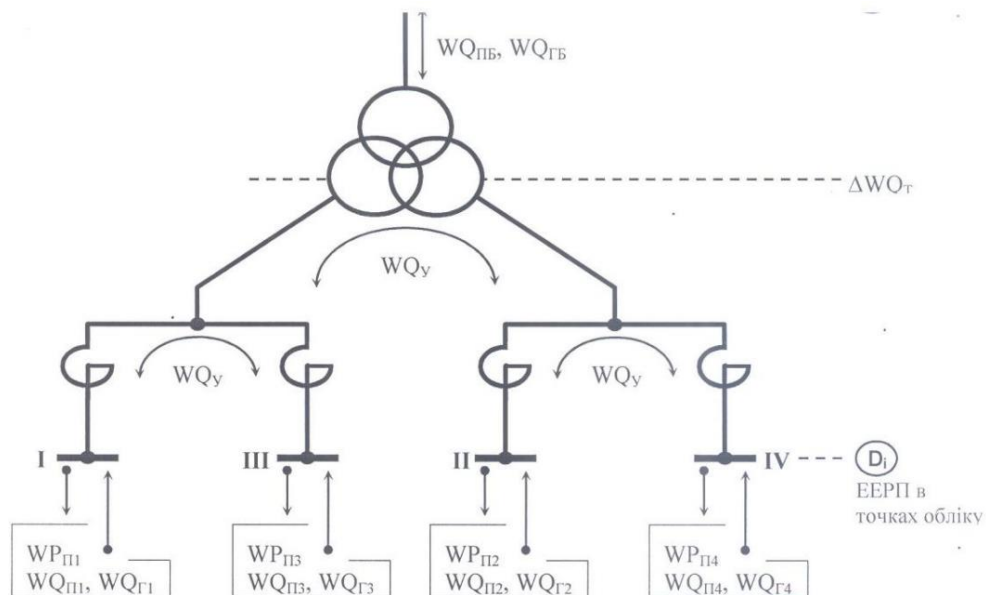


Рисунок 2.2 - Схема електричного постачання підстанції 110/6 кВ

Умовні позначення на рисунку 2.2:

$WQ_{П}$, – споживання реактивної електричної енергії в точці обліку;

$WQ_{Г}$, – генерація реактивної електричної енергії в точці обліку;

WQ_y , – внутрішні зрівнювальні перетікання, що не виходять в мережу енергопостачальної компанії;

$WQ_{\text{ПБ}}$, $WQ_{\text{ГБ}}$, – відповідні розрахункові балансні перетікання реактивної електричної енергії на межі балансового розділу електричних мереж (МБР);

ЕЕРП – економічний еквівалент реактивної потужності.

Тому раціонально розробити спосіб оптимізації перетікань та розрахунків балансу реактивної електричної енергії на електричних підстанціях у складі АСКОВ промислових підприємств [16], що дасть змогу проводити точний розрахунок втрат електричної енергії в силових трансформаторах в інформаційних умовах АСКОВ в режимі on-line.

12. Керування режимами електричного споживання з метою зниження споживання у години пікового навантаження і збільшення його в позапіковий час.

Вирівнювання навантаження має вагоме значення, як для зменшення втрат електроенергії, так і для зменшення оплати за спожиту електричну енергію. АСКОВ здатна розраховувати коеф. форми, загрузки, максимуму, а також інші морфометричні характеристики графіків електричних навантажень, запропоновані в роботі [17].

Немає змоги досягти зменшення суми сплати за електричну енергію та зменшення обсягу споживання електричної енергії без забезпечення оперативності, точності й достовірності вимірювальних даних, а також постійного контролю і моніторингу поточних технологічних параметрів режимів електричного споживання на промисловому підприємстві.

2.4 Забезпечення точності, оперативність та достовірність вимірювальної інформації

1 Верифікація та достовірність інформації обліку електроенергії.

Це досягається за допомогою перевірки масивів даних електричного споживання на грубі помилки та застосуванням балансового методу, розглянутого вище.

2. Відновлення відсутніх даних електричного споживання. До вимог головного оператора системи комерційного обліку ОРЕ щодо змісту, складу та умов погодження проектно-кошторисної документації на створення АСКОЕ [18] п. 5.12 вказано, що однією із головних функцій автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії є заміщення (відновлення даних), не отриманих операторами АСКОЕ у постановлений термін. В [19] розглянуті методи відновлення облікової інформації.

3. Резервування каналів зв'язку між лічильником (пристроєм збору-передачі даних) і сервером. На сьогодні в якості каналів зв'язку в автоматизованій системі комерційного обліку застосовують виділені телефонні лінії або канали стандарту Radioethernet або GSM. Рекомендується у таких випадках мати резервні канали зв'язку і дублювати передачу інформації по каналами стандарту GSM або каналам Radioethernet. Розумно на кожному вимірювальному каналі у АСКОЕ мати як основний канал зв'язку так і резервний. У випадку технічної можливості, краще перейти на канали зв'язку з оптоволокна, які мають високу надійність і швидкість передачі інформації. Але потрібно пам'ятати, що такому каналу зв'язку будуть властиві певні недоліки, такі як неможливість охоплення важкодоступних точок обліку, висока вартість та необхідність дотримання спеціальних вимог при прокладанні.

4. Встановлення високоточних лічильників (наприклад, трансформаторів напруг і струму класу 0,2 або 0,5), які забезпечують підвищення точності обліку електричної енергії й зменшення похибки лічильників.

5. Своєчасна перевірка лічильників електроенергії, пристроїв збору-передачі інформації і вимірювальних каналів АСКОЕ.

6. Розробка сигналізації про відсутність обліку електричної енергії в будь-якій точці.

7. Перевірка коректності схем обліку, надійності контактних з'єднань в них.

2.5 Контроль і моніторинг поточних технологічних параметрів режимів електричного споживання на промисловому підприємству

1. Середнє значення реактивного і активного навантаження за 1, 30 хвилин, годину, добу, тиждень, місяць тощо.

2. Фазні (PA , PB , PC) активні потужності; фазні (QA , QB , QC) реактивні потужності; фазні (SA , SB , SC) повні потужності; кути зсуву фаз (φA , φB , φC).

3. Середнє значення лінійного або фазного струму на приєднанні за вище перелічені інтервали часу.

4. Параметри якості електричної енергії, які збираються і вимірюються електронними лічильниками, згідно ГОСТ 13109-97 [21] (фазні (U_A , U_B , U_C) або лінійні (U_{AB} , U_{CA} , U_{BC}) напруги; частоту (f); усталені відхилення напруги (ΔU_Y), коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U , коефіцієнт n -ої гармонічної складової напруги $K_{U(n)}$, коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою і оберненою K_{0U} і K_{2U} послідовністю відповідно і інші). Потрібно зауважити, що вищезазначені параметри електронні лічильники вимірюють, але не з вказаною в [21] дискретністю й, що основне, вимірювання ними інформації щодо якості

електроенергії метрологічно не атестовано. Достовірність вимірюваних результатів на даний час за певними параметрами ще недостатня. В роботі [4] запропоновано об'єднати АСКОЕ з системою контролю якості електроенергії. Реєстратори (монітори) якості електричної енергії мають змогу забезпечити частоту одержання інформації не менше 6 кГц (6000 вимірювань в секунду), що в свою чергу забезпечує набагато кращий контроль за показниками якості електричної енергії, ніж електронні лічильники, у яких частота одержання найважливішої інформації не перевищує 1 або 3 хвилин. Інформація, зафіксована реєстраторами якості електричної енергії, застосовуються із метою використання як доказової бази при вирішенні спірних питань із електропостачальною компанією; з метою редагування рахунків оплати за електричну енергію; для виявлення винуватця погіршення якості електричної енергії.

5. Стан (ввімкнено, вимкнено) вимикача напругою $6 \div 110$ кВ. Інтеграція АСКОЕ і автоматизованих систем диспетчерського управління дасть змогу оперативному персоналу краще вести нагляд за станом електропередавальної системи.

6. Величина коефіцієнту потужності і коефіцієнту реактивної потужності.

7. Резонансна частота у паралельному контурі, який складається або зі зведеного струмообмежувального реактора, конденсаторної установки у одній вітці і активно-індуктивного навантаження у іншій вітці із джерелом вищих гармонік (рис. 2.3) [22], або у одній вітці з конденсаторної установки, а у іншій - активно-індуктивного навантаження із джерелом вищих гармонік, і контроль її в режимі on-line.

8. Наявність навантаження на приєднанні, де встановлені прилади обліку.

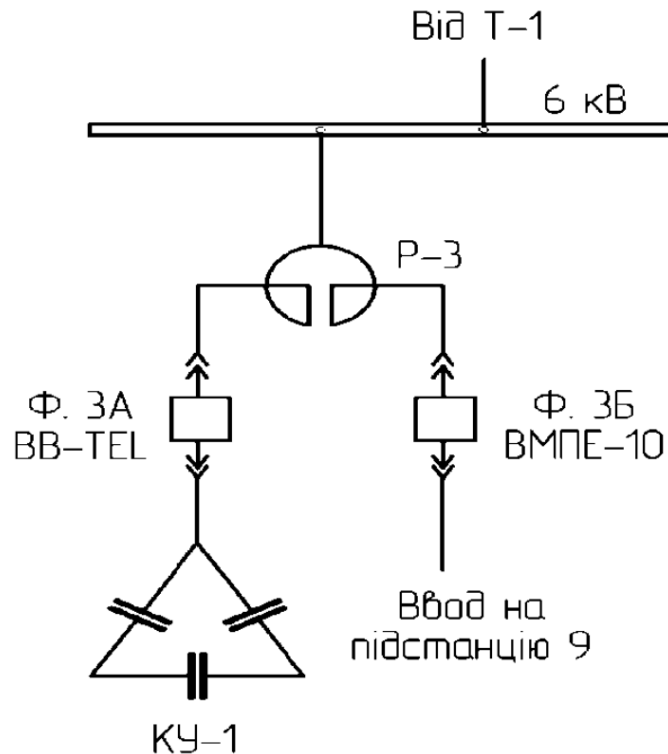


Рисунок 2.3 - Однолінійна схема підключення КУ через вітку здвоєного струмообмежувального реактора

На промислових підприємствах із великим споживання зустрічаються такі схеми електричного постачання, коли до одної вітки контуру під'єднано ємнісне навантаження, потрібне для компенсації реактивної потужності у мережі, а до іншої вітки – активно-індуктивне навантаження, яке містить джерело вищих гармонік (рисунок 2.3).

Напруга, струм, коефіцієнт потужності активно-індуктивного навантаження змінюються у досить широких межах, змінюється також ємність конденсаторної установки. При певному значенні напруги, струму, коефіцієнта потужності, ємності конденсаторної установки резонансна частота $f_{\text{рез}}$ у контурі може співпадати із частотою непарних гармонік (з 3 до 19), кратним 50 Гц (150, 250, ..., 950) Гц. Тому потрібно, ґрунтуючись на інформації, зібраних електронними лічильниками,

встановлених на приєднаннях 3А та 3Б (рисунок 2.3) за умови під'єднання цих лічильників до АСКОЕ, організувати моніторинг резонансної частоти у такому контурі у режимі on-line. Розумно також при цьому проводити оперативне прогнозування інформації електричного споживання на 1-2 періода упередження. Даний захід дасть змогу створити запас часу для оперативного персоналу, щоб зменшити ємність конденсаторної установки або відключити її взагалі.

9. Період роботи (пробігу) основного електроустаткування (силових трансформаторів, електродвигунів напругою 10 (6) кВ). Це дасть змогу визначити виведення у ремонт силових трансформаторів, електродвигунів, розрахувати з більшою точністю втрати енергії у силових трансформаторах.

Станом сьогодні на виробництві ведуть вручну журнали пробігу устаткування, за якими визначається час роботи електродвигунів. Якщо на приєднанні електричних двигунів або силових трансформаторів встановлений електронний лічильник, який передає інформації електричного споживання у АСКОЕ, то цю функцію ще більш точніше має змогу виконувати система обліку без використання ручної праці.

Висновки до розділу

Для реалізації оптимальних управлінських рішень щодо споживання електричної енергії потрібно забезпечити науково обґрунтований моніторинг електричного споживання, що потребує не просто фіксацію фактів запланованої і фактично спожитої електричної енергії на підприємствах.

Детально розглянуті заходи із використання АСКОЕ для мінімізації витрат за сплату спожитої електричної енергії і розміру електроспоживання.

Звернено увагу на питання забезпечення достовірності і точності вимірювальних даних і постійного моніторингу, а також контролю поточних

технологічних параметрів режимів електричного споживання на промисловому підприємству.

Розглянуті процедури, які гарантують достовірність і точність вимірювальних даних.

Перераховано найголовніші поточні технологічні параметри режимів електричного споживання на промисловому підприємству.

Запропоновано використовувати АСКОВЕ замість журналів пробігу для визначення періоду роботи головного електричного устаткування (електродвигунів напругою 6 (10) кВ, силових трансформаторів). Це дасть змогу розрахувати із більшою точністю втрати енергії у силових трансформаторах і визначити термін проведення ремонту високовольтних або низьковольтних електричних двигунів.

3 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ АСКОВЕ ДЛЯ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРИСНОГО СПОЖИВАННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ

3.1 Моніторингу електроспоживання на підприємствах залізнорудної галузі криворізького регіону

Україна сьогодні має потужний електроенергетичний комплекс, в якому задачі споживання, виробництва та передавання електричної енергії (ЕЕ) розділені. Усі вищезгадані функціональні складові мають великий рівень підвищення потенціалу ефективності. У повній мірі це стосується процесу споживання електричної енергії.

Енергетика це база економіки країни, яка охоплює процес використання, видобутку та транспортування паливно-енергетичних ресурсів, є організаційно складною виробничо-технологічною і еколого-економічною системою, що активно впливає на довкілля. Етапи розвитку енергетики має серйозний вплив на стан економіки країни, на рішення проблем рівень життя людини і соціальної сфери. Перед людством стоїть важлива задача вийти на інший рівень електричного споживання за допомогою підвищення енергоефективності всіх галузей економіки та використання інноваційних енерготехнологій.

Підвищення мобільності внутрішнього та навколишнього середовища сучасних підприємств й формування його конкурентного оточення визначають нові підходи та методи до раціонального управління електричним споживанням.

Одним з таких шляхів щодо ефективного управління електричним споживанням є моніторинг електричного споживання, розробка комплексу показників, які характеризують процеси електричного споживання та забезпечують можливість керуючих впливів на нього.

Основним споживачем електричної енергії у країні є і, скоріш за все, буде залишатися протягом найближчих 30-40 років промисловість, де своїми обсягами споживання відзначаються енергоємні підприємства, до яких, в повній мірі, належать підприємства залізорудної галузі [1]. Так із шістнадцяти енергоємних підприємств, що знаходяться на території Дніпропетровської області і ті, що споживають около половини від всієї кількості споживання електроенергії в області, около третини споживають гірничо-металургійні підприємства Криворізького регіону, які забезпечують більше ніж 80% загальнодержавного обсягу видобутку залізорудної сировини (ЗРС).

При цьому важливим фактом є те, що більше ніж на третину собівартість залізорудної сировини складається із показників рівня споживання електричної енергії. Звісно, що в такому контексті, задача зменшення собівартості продукції залізорудного комплексу країни – це задача зменшення сегмента електричної енергії в долі вартості. Так чи інакше, рішення цієї задачі носить відтінок певної складності, яка, в свою чергу, складається самою технологічною специфікою гірничо-металургійних підприємств [2]. Зміна умов внутрішнього й зовнішнього економічного середовища певного підприємства тягне за собою перегляд цільових параметрів: потрібно перевірити наскільки оптимальні поставлені цілі в сьогоdnішніх реаліях, спроможне конкретне підприємство, оглядаючись на зміни, що виникли, досягти поставлених цілей. На основі зміни цільових параметрів, а також прогнозу змін «слабких» й «сильних» сторін самого підприємства редакується план дії щодо досягнення поставлених цілей [3].

Проте стратегія споживання електричної енергії існує як факт, та потребує свого рішення. Звісно, головним напрямом в знижені (оптимізації) рівня енергозатрат при переробці та видобутку залізорудної сировини, окрім зміни технології видобутку, є керування процесом споживання конкретного виду енергії.

Станом на сьогодні на підприємствах процес визначення та заявки лімітів або встановлення шахтних норм електричного споживання виконується практично без достатнього аналізу електроспоживання і показників роботи підприємства, що доволі часто призводить до відхилення фактичного споживання електричної енергії від заявочних значень. При зміні лімітів не кожного разу враховується актуальне значення показників роботи підприємства, прогноз факторів, які впливають та, як наслідок - нераціонально споживають заявлені ліміти. За умови перевищення ліміту електричної енергії із підприємства стягується штраф за величину перебору електричної енергії. В зв'язку з цим, визначення перспективних рівнів споживання електричної енергії для своєчасної і правильної заявки необхідних лімітів неможливо без проведення моніторингу електричного споживання з метою забезпечення ефективної стратегії електричного споживання. Згідно з поставленою задачею, був проведений порівняльний аналіз планової і фактичної спожитої електричної енергії на підприємствах із підземним видобутком залізорудної сировини Криворізького регіону.

На рисунку 3.1 зображено графік споживання електроенергії за період 2012 – 2016 рр для шахти "Родіна".

Візуальний аналіз показує майже відповідність фактичного і планового споживання електроенергії. Апроксимація кривої, яка характеризує планове споживання електричної енергії, дає змогу отримати відповідну аналітичну залежність (2.1) (кількість спожитої електроенергії – рік).

$$Y = -131 \ln(x) + 6609. \quad (3.1)$$

Коефіцієнт детермінації $R^2=58,7$, який свідчить про достатній рівень адекватності.



Рисунок 3.1 - Планове і фактичне споживання електроенергії шахти "Родіна".

На рисунку 3.2 зображено споживання електричної енергії для шахти "Жовтнева" з апроксимуючою кривою.

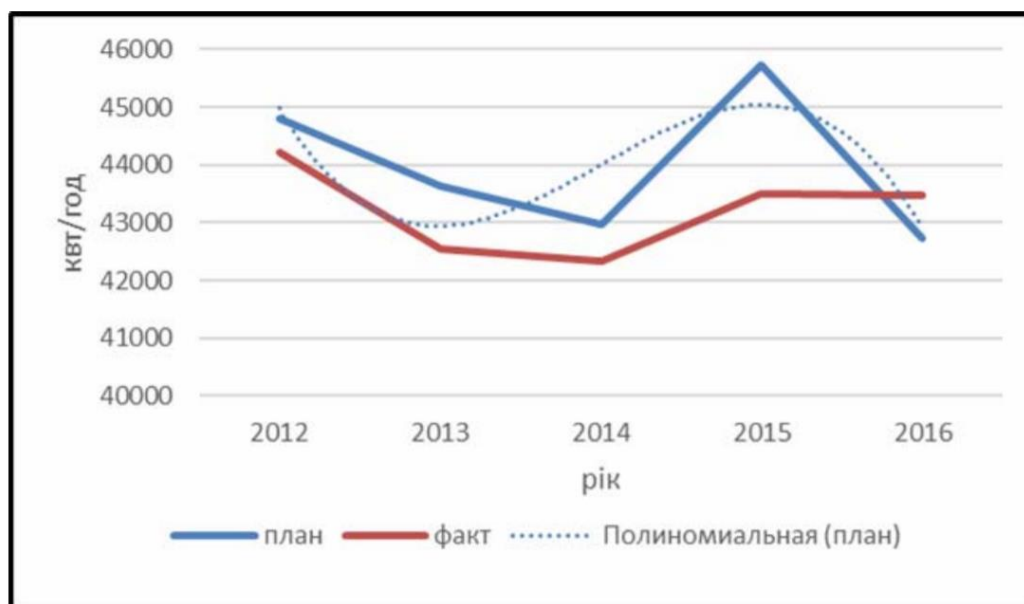


Рисунок 3.2 - Планове й фактичне споживання електроенергії шахти "Жовтнева".

Як, зображено на рисунку 3.2, значне відхилення фактично спожитої електричної енергії від запланованої на шахті «Жовтнева» спостерігається у 2015р.

Відповідно, до запланованого і фактичного споживання електричної енергії розумно використовувати різні апроксимуючі криві, з різним значенням коеф. детермінації ($R_{пл}^2 = 67,8$; $R_{ф}^2 = 97,4\%$)

На рисунку 3.3 зображено споживання електричної енергії на шахті "Гвардійська".

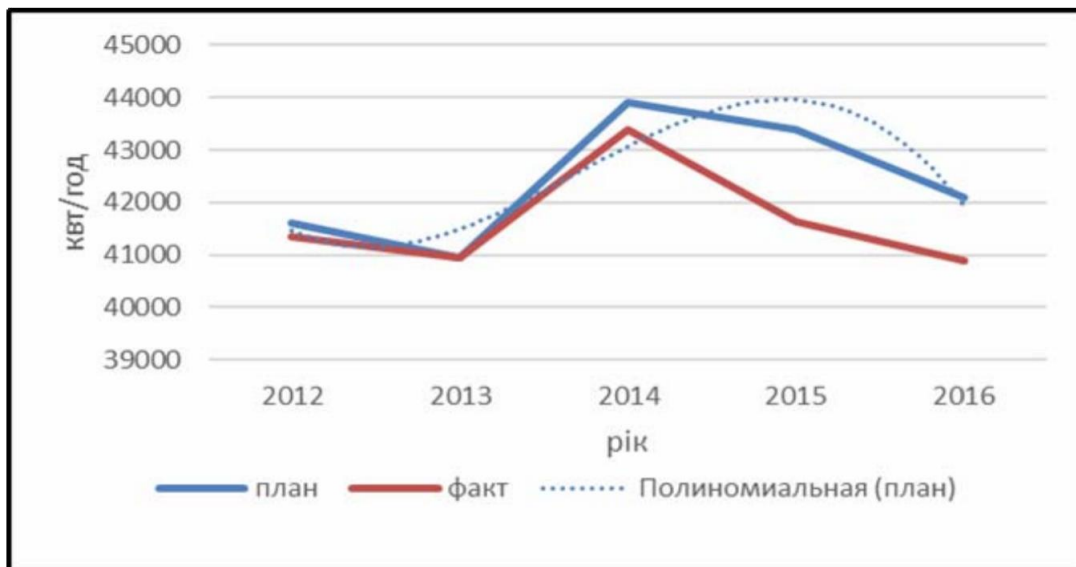


Рисунок 3.3 - Планове та фактичне споживання електроенергії шахти "Гвардійська".

Для шахти "Гвардійська" практично заплановане і фактичне споживання електричної енергії співпадає. Для теоретичного аналізу доцільно використовувати поліноміальну залежність 3 ступеню (2.2):

$$Y = -369,9x^3 + 2980x^2 - 6325,9x + 45181 \quad (3.2)$$

На рисунку 3.4 представлено споживання електричної енергії для шахти "Терновська"

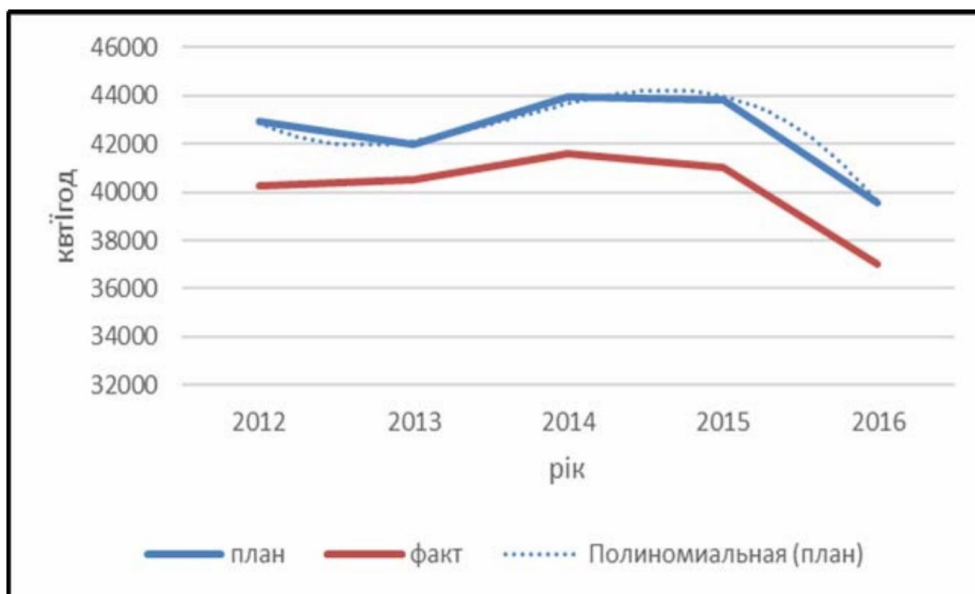


Рисунок 3.4 - Фактичне і планове споживання електричної енергії шахти "Терновська".

Візуальний аналіз вказує на вагоме відхилення в 2015 році. У випадку попереднього аналізу споживання електричної енергії представлених залізрудних підприємств, можна теоретично визначити усереднені апроксимуючі криві, то для шахти "Терновська" існує нагальна потреба будувати окремі апроксимуючі криві для планового і фактично споживання електричної енергії.

Стратегія споживання електричної енергії пов'язана не тільки з обсягами спожитої електроенергії, а також із вартісною складовою.

Ефективність функціонування гірничодобувного підприємства а саме його робота, особливо у нестабільних умовах перехідної економіки, у великій мірі залежить від правильності системи оцінювання спожитої електричної енергії.

Станом на сьогодні на даному етапі розвитку концепції стратегії споживання електричної енергії ще не сформовано одного універсального методичного підходу до оцінювання ефективного споживання електроенергії. Тому вартісно-цільова

частина моніторингу, може бути застосована при визначенні оптимальних об'ємів споживання електричної енергії. У цьому сенсі, ми вважаємо за правильне, використовувати індексні підходи задля дослідження вартісної складової спожитої електричної енергії.

Обробляючи дані для відповідних підприємств ГРК Криворізького регіону: обсяги спожитої електричної енергії, вартість спожитої електричної енергії, за період 2012 – 2016 роки розрахуємо абсолютну зміну середньої питомої вартості електричного споживання виробництва, динаміку середньої питомої вартості електричного споживання виробництва, структурні індекси середньої питомої вартості електричного споживання виробництва та чинники, які її формують (таблиця 2.1).

Індекс середньої питомої вартості виробництва змінного складу відображає відношення рівня питомої вартості за сукупністю підприємств регіону в звітному періоді до її рівня в базисному періоді (2.3):

$$I_S^{зс} = \frac{\sum PB_1 d_1}{\sum PB_0 d_0}, \quad (3.3)$$

де PB_1 – вартість спожитої електричної енергії в звітному періоді; PB_0 – вартість спожитої електричної енергії в базисному періоді; d_1 – частка спожитої електричної енергії в звітному періоді; d_0 – частка спожитої електричної енергії в базисному періоді.

Отже, середнє значення питомої вартості виробництва по області загалом у звітному періоді 2016 році порівняно із базисним 2015 роком відчутно знизилася.

Загальну характеристику дії процесів за всіма підприємствами надає індекс питомої вартості виробництва фіксованого складу. Індекс $I_S^{зс}$ показує, як змінився середній рівень питомої вартості виробництва в звітному періоді порівняно із

базисним тільки за рахунок динаміки рівня питомої вартості виробництва по окремим підприємствам регіону (3.4):

$$I_S^{\text{фс}} = \frac{\sum PB_1 d_1}{\sum PB_0 d_1}, \quad (3.4)$$

На основі зроблених розрахунків приходимо до висновку, що середня питома вартість виробництва доволі суттєво знизилась, та складає 0,25 од., тільки в результаті динаміки її рівня за окремими підприємствами.

Ще одним фактором, що спричинив динаміку питомої вартості виробництва по регіону загалом за аналізований період, була зміна розподілу сукупних обсягів споживання електричної енергії між окремими підприємствами регіону.

Загальну характеристику впливу зміни розподілу сукупних об'ємів споживання електричної енергії між підприємствами регіону дає індекс середньої питомої вартості структурних зрушень $I_S^{\text{зс}}$ (3.5):

$$I_S^{\text{зс}} = \frac{\sum PB_1 d_1}{\sum PB_0 d_9}, \quad (3.5)$$

Індекс відображає, як змінився середній рівень питомої вартості електричної енергії по регіону тільки за рахунок зміни розподілу сукупних об'ємів спожитої електричної енергії підприємств.

Отже, середня питома вартість електричної енергії виробництва в звітному періоді порівняно з базисним підвищилася приблизно на 1,7 %.

В цьому випадку, за умови зміни питомої вартості електроенергії по кожному підприємству регіону середня вартість електричної енергії знизилась на 7,8%, а за рахунок зміни розподілу об'єму спожитої електроенергії між підприємствами регіону середня питома вартість електричної енергії виробництва зменшилась на 6,2%.

Таблиця 3.1. Дані для аналізу відносних й абсолютних змін питомої вартості електричної енергії гірничорудних підприємств Криворізького регіону (тис. грн.).

№ з/п	Назва підприємства	Базисний період 2015 рік		Звітний період 2016 рік	
		Вартість спожитої ЕЕ (грн)	Обсяги спожитої ЕЕ (кВт/час)	Вартість спожитої ЕЕ (грн)	Обсяги спожитої ЕЕ (кВт/час)
1	Ш. Жовтнева	54 617,00	43 501,7	49 579,00	43 468,00
2	Ш. Родіна	77 001,90	61 009,40	74 431,00	66 275,00
3	Ш. Терновська	51 315,50	40 996,70	41 171,70	37 010,90
4	Ш. Гвардійська	60 381,10	41 634,2	56 773,70	83 653,00

Таблиця 3.2 - Динаміка структурної трансформації питомої вартості електричної енергії виробництва гірничорудних підприємств Криворізького регіону.

Індекс питомої вартості ЕЕ виробництва змінного складу	2013	2014	2015	2016
Індекс питомої вартості ЕЕ виробництва фіксованого складу	0,87	1,58	1,32	0,94
Індекс питома вартості ЕЕ виробництва структурних зрушень	0,79	1,28	0,95	1,016
Взаємозв'язок між індексами	1,09	1,24	1,38	0,92
	0,87	1,59	1,32	0,94

Проведений структурний аналіз трансформації питомої вартості електричного споживання підприємств залізорудної галузі Криворізького регіону був виконаний також в динаміці за період з 2012 по 2016 роки. Результати обчислень наведені в таблиці 3.2.

Графічна динаміка структурної трансформації питомої ціни електричної енергії на підприємствах із підземним видобутком залізорудної сировини Криворізького регіону відображена на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 - Динаміка структурної трансформації питомої вартості електричної енергії на гірничорудних підприємствах Криворізького регіону.

Найнижчі значення трансформаційних індексів по регіону були у 2013р., при цьому значне збільшення питомої вартості електричної енергії виробництва відбулось саме за рахунок зростання частки вартості електроенергії, це було обумовлено впливом фінансово-економічної кризи.

3.2 Опис проблеми не ефективного використання електроенергії і шляхи їх вирішення за допомогою впровадження АСКОЕ на шахті.

Головне завдання, яке стоїть перед даним розділом є дослідження шляхів підвищення ефективності режимів електричного постачання та способів керування режимами електричного споживання підприємства гірничої галузі за допомогою АСКОЕ на прикладі криворізької залізно-рудної шахти «Родіна»

Керування режимами електричного споживання є одною із головних умов забезпечення стійкої роботи сучасних промислових підприємств. Через значне підвищення вартості на енергоносії, в тому числі і на електроенергію, що призводить до збільшення собівартість продукції, керування режимами електричного споживання є одним із найефективніших способів економії енерговитрат на гірничій шахті, отримання додаткової конкурентної переваги і підвищення рентабельності виробництва. Слід також згадати, що керування режимами електричного споживання на промисловому підприємстві дає змогу знизити нерівномірність графіків навантажень енергетичної системи, що в свою чергу позитивно відбивається на собівартості виробленої продукції й передачі електроенергії.

Одним із головних інструментів інформаційного забезпечення задачі впровадження та моніторингу енергозберігаючих засобів і керування режимами електричного споживання являються автоматизовані системи обліку, контролю і управління електричного використанням (АСКОЕ). Завдання побудови АСКОЕ сьогодні приділяється досить багато уваги в зв'язку з вимогами Правил користування електричною енергією щодо впровадження в потужних споживачів приладів диференційованого обліку електричної енергії і локального устаткування збирання і передавання інформації. Також триває процес впровадження АСКОЕ в суб'єктів Оптового ринку електричної енергії України. Зазначені заходи мають на меті забезпечення можливості побудови електроенергетичних балансів

електропостачальних компаній та створити умови побудови загального електроенергетичного балансу України [18]. Втім результати від впровадження АСКОВЕ можуть бути набагато значущими та корисними для самих споживачів, перш за все для потужних промислових підприємств та шахт.

Впровадження АСКОВЕ дає широкі можливості шахті щодо керування власним енерговикористанням, в тому числі дає змогу: в режимі on-line контролювати характеристики режимів електричного постачання шахти, проводити аналіз режимів електричного споживання з метою виявлення і подальшого зменшення (усунення) втрат й не ефективних витрат електричної енергії, які призводить до зниження енергоємності виробленої продукції, та відповідно й до підвищення її конкурентоспроможності, зменшити витрати промислового підприємства на електричні ресурси без зниження рівня електричного споживання за рахунок вибору диференційованих тарифів під час розрахунків за електроенергію, керувати режимами електричного споживання з метою оптимізації витрат на електроенергію за рахунок використання електричної енергії у години доби, яким відповідають найнижчі тарифні коефіцієнти, ще більше економить під час оплати спожитої електричної енергії.

3.3 Опис енергосистеми промислового підприємства та його приладів обліку

Криворізька шахта «Родіна» спеціалізується на видобуванні залізної руди для подальшої її переробки на металургійних заводах.

Територіально шахта розміщується на трьох виробничих площадках: основний виробничий майданчик № 1; виробничий майданчик № 2 і виробничий майданчик № 3. Виробничі площадки шахти електрично не зв'язані між собою тому з точки зору «Правил користування електричною енергією» (ПКЕЕ) розглядаються, як окремі площадки вимірювань. Електричне постачання шахти здійснюється за

допомогою чотирьох трансформаторних підстанцій (ТП) 10/0,4 кВ від електричних мереж ДТЕК «Дніпрообленерго».

Електричне постачання головного виробничого майданчика № 1 здійснюється від двох незалежних систем шин двома кабельними лініями (КЛ) напругою 10 кВ за допомогою двох ТП 10/0,4 кВ потужністю 2000 кВА кожна. ТП обладнані системою автоматичного введення резерву (АВР) на стороні 10 кВ. Категорія надійності електричного постачання приладів основного виробничого майданчика — І. Електричне постачання виробничого майданчика № 2 виконується від транзитної ТП 10/0,4 кВ потужністю 720 кВА, яка живиться двома КЛ від міських ТП ДТЕК «Дніпрообленерго».

Електричне постачання виробничого майданчика № 3 виконується від ТП 10/0,4 кВ потужністю 800 кВА і розроблена за двопротеновою схемою від підстанції 35/10 кВ, підстанції 110/10 кВ та міських ТП та РП ДТЕК «Дніпрообленерго». Категорія надійності електричного постачання приладів виробничих цехів для виробництва палет і стружки — ІІ.

Згідно із договором на користування електроенергією Криворізька шахта «Родіна» має у сумі 6 точок комерційного обліку (по 2 точки комерційного обліку на кожному майданчику вимірювань). До впровадження АСКОВ облік електричної енергії здійснювався за допомогою багатофункціональних електронних приладів обліку типу СТКЗ різних версій. У 2019 році на вимогу «Правил користування електричною енергією» шахта «Родіна» почало створення АСКОВ, яка була впроваджена у постійну експлуатацію у березні 2020 року. АСКОВ Шахта є територіально-розподіленою інформаційною системою збирання, вимірювання, зберігання, оброблення й відображення інформації комерційного обліку електричного споживання підприємства по трьох майданчиках вимірювання. В період впровадження АСКОВ було прийнято рішення про заміну приладів обліку

СТКЗ найбільш застарілих версій на новітні багатофункціональні електронні лічильники електроенергії типу SL7000.

3.4 Впровадження АСКОЕ на даній шахті

Структурна схема АСКОЕ шахти «Родіна» зображена на рисунку 3.1. Лічильники комерційного обліку електричної енергії на майданчиках вимірювання №2 і №3 підключені до комунікаційних вузлів, побудованих на основі серверів послідовних портів MOXA N-port. Комунікаційні вузли, поєднані з локальним устаткуванням збору та обробки даних (ЛУЗОД), встановленим на головному майданчику вимірювання, комп'ютерною мережею шахти. ЛУЗОД, яке побудоване на основі пристрою збирання і передавання даних (ПЗПД) виробництва шахти «Родіна», у автоматичному режимі забезпечує зчитування інформації комерційного обліку із багатофункціональних електронних лічильників електричної енергії типу SL7000 та СТКЗv37, їхню зберігання, обробку і передавання за завданням розкладом в узгоджених форматах і в погоджений спосіб GPRS- мережею до АСКОЕ споживачів ДТЕК «Дніпрообленерго» та комп'ютерною мережею до автоматизованого робочого місця (АРМ) головного енергетика шахти. ЛУЗОД також надає доступ клієнтів АСКОЕ безпосередньо до первинних баз даних (ПБД) багатофункціональних електронних лічильників електричної енергії через уніфікований протокол передавання даних вимірювань (УППДВ), прийнятого у енергоринку України [10].

АСКОЕ забезпечує постійне надходження інформації комерційного обліку про електричне споживання шахти «Родіна» до служби головного енергетика (СГЕ) підприємства і щоденне передавання інформації до АСКОЕ споживачів ДТЕК «Дніпрообленерго». в автоматичному режимі. За необхідності оператор АСКОЕ має змогу у інтерактивному режимі запросити актуальну інформацію за будь-який період часу або здійснювати безперервний контроль поточних параметрів режимів

електричного споживання (ППРЕ) підприємства [12], у тому числі і в періоди максимальних навантажень енергосистеми.

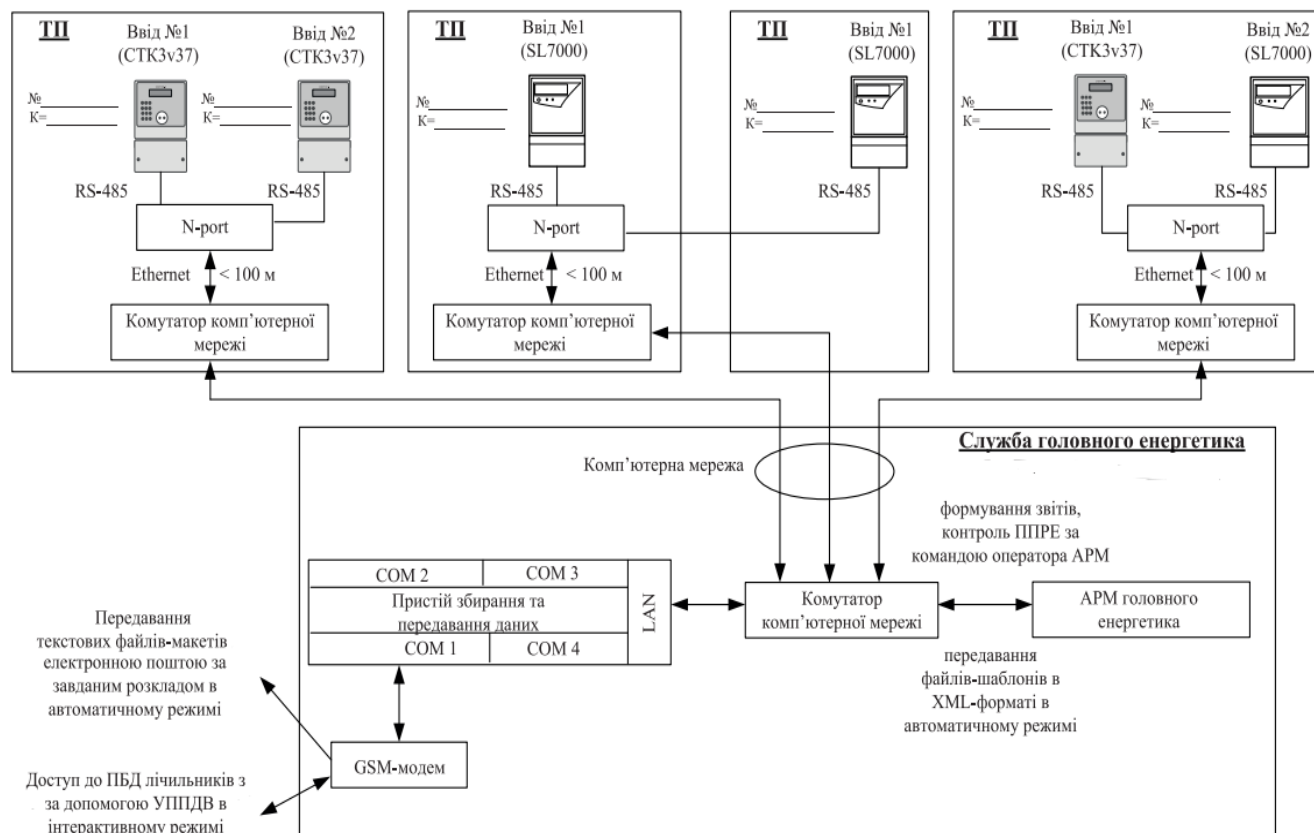


Рисунок – 3.6. Структурна схема АСКОЕ шахти «Родіна»

Впровадження АСКОЕ дозволило службі головного енергетика шахти «Родіна» сконцентрувати свою увагу на аналізі та контролі режимів електричного споживання. АСКОЕ дозволяє контролювати електричне споживання по всіх точках комерційного обліку у завданих часових проміжках. На рисунках 3.7–3.8 зображені річні та місячні графіки споживання електричної енергії комбінатом.

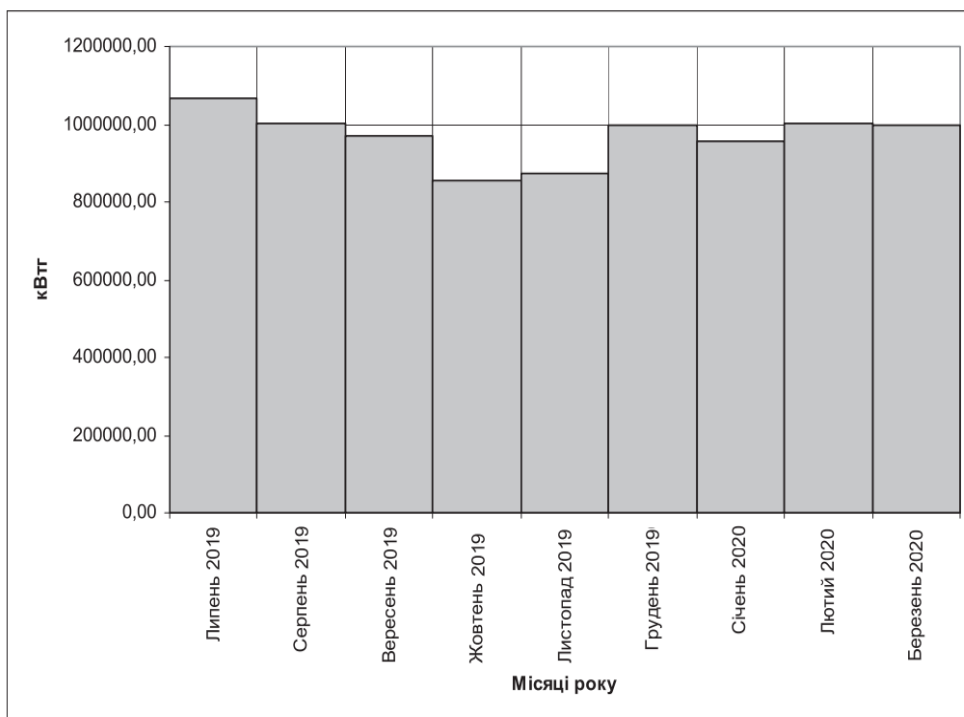


Рисунок 3.7 – Споживання електричної енергії шахти «Родіна» по місяцях

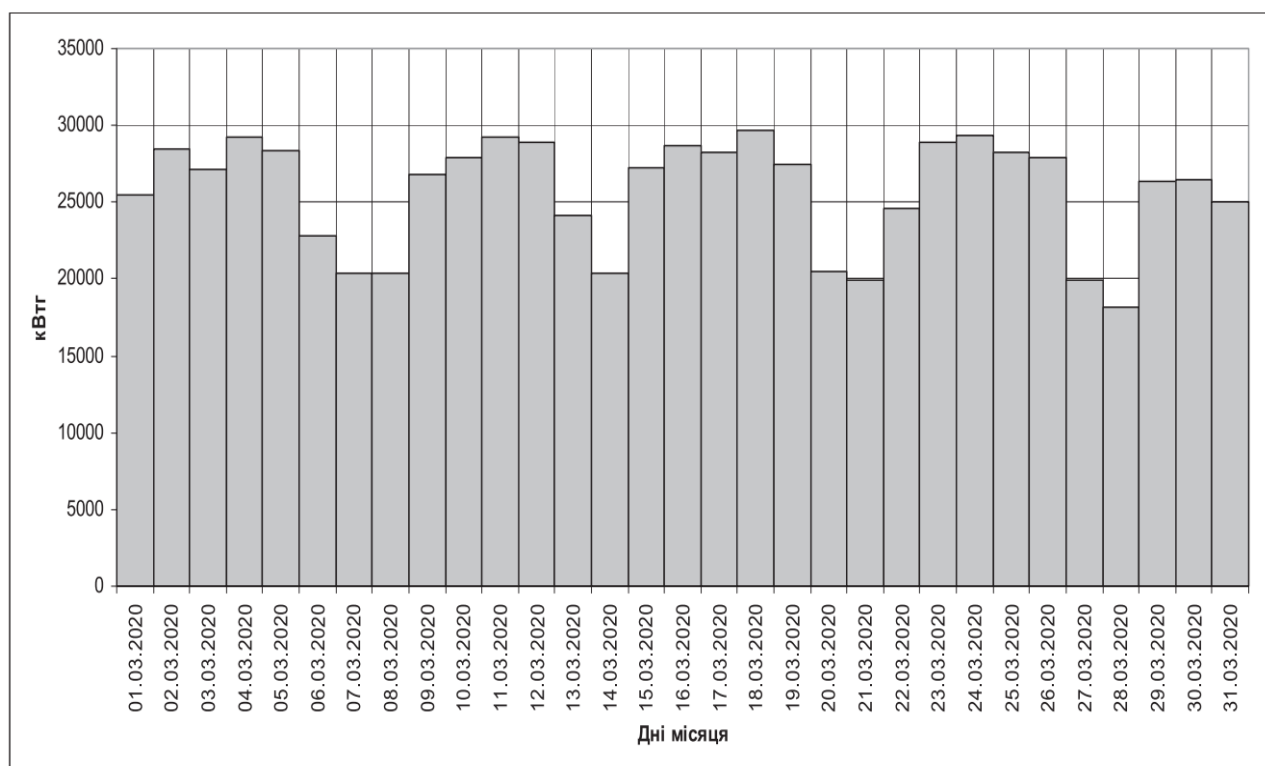


Рисунок 3.8 - Споживання електричної енергії шахти «Родіна» у березні 2020р.

Упровадження АСКОЕ дало змогу спростити процес розрахунків за електричну енергію з електропостачальною організацією, а також забезпечити потрібну достовірність і точність обліку електричної енергії, що в свою чергу дозволило суттєво знизити ймовірність порушення договірних умов електричного постачання, в тому числі перевищення потужності, заявленої підприємством у години максимальних навантажень енергосистеми, відповідно і знизити ризик нарахування штрафів. На рисунку 3.9 зображено графік навантаження шахти «Родіна» для типової доби в березні 2020 року.

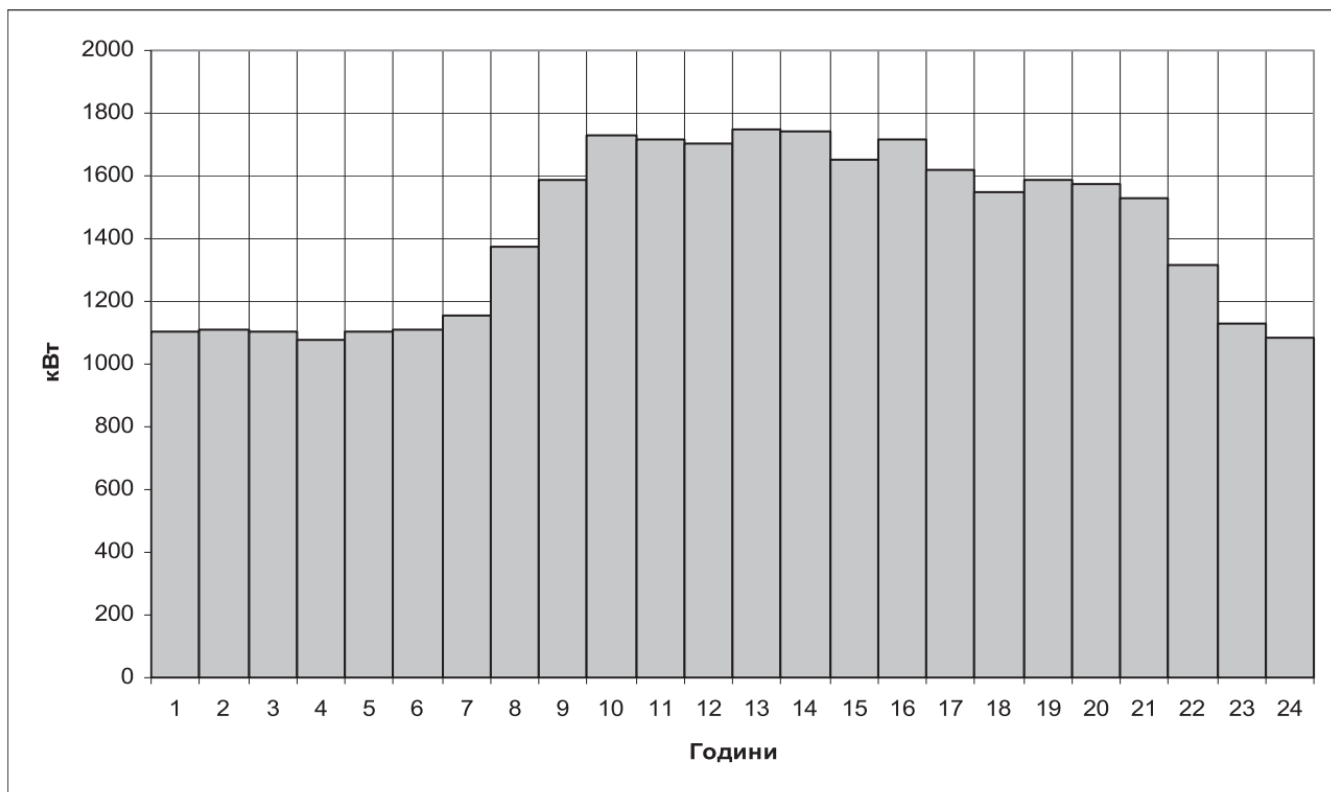


Рисунок 3.9 - Типовий добовий графік навантаження шахти «Родіна» у березні 2020 року.

3.5 Проведення розрахунків опираючись на дані АСКОЕ

Середньодобове навантаження підприємства за характерну добу березня 2020 розраховуємо за формулою (3.6):

$$P_c = \sum_{k=0}^{m-1} \frac{P_k}{m} = 1422 \text{ кВт}, \quad (3.6)$$

де $m = 24$ — число ступенів у графіку; P_k — значення навантаження k -ї ступені, кВт. Як відомо, втрати активної електричної енергії у мережі пропорційні квадрату електричного навантаження комбінату, тому аналізу підлягають також квадратичні графіки навантаження. Одним з показників таких графіків є їхнє середньоквадратичне значення [13], яке за цю ж добу складо розраховуємо за формулою (3.7):

$$P_{ck} = \sqrt{\sum_{k=0}^{m-1} \frac{P_k^2}{m}} = 1446 \text{ кВт}, \quad (3.7)$$

На основі отриманих значень середньоквадратичного та середньодобового навантаження визначаємо дисперсію Dp та середньоквадратичне відхилення (стандарт) σp графіка навантаження, значення яких характеризує нерівномірність використання підприємством активної електричної потужності протягом доби: ,

$$Dp = P_{ck}^2 - P_c^2 = 1446^2 - 1422^2 = 68832 \text{ кВт}^2 \quad (3.8)$$

$$\sigma p = \sqrt{Dp} = \sqrt{68832} = 262 \text{ кВт} \quad (3.9)$$

Час використання максимальної потужності для досліджуваної доби становить:

$$T_{max} = \frac{W_{доб}}{P_{max}} = 19,52 \text{ год}, \quad (3.10)$$

де $W_{доб} = 34118$ — добове споживання електричної енергії підприємством, кВт*год; P_{max} — максимальна активна потужність, яка використана підприємством протягом досліджуваної доби, кВт. Отримане значення T_{max} свідчить, що режим використання підприємством активної електричної потужності на протязі доби

наближений до оптимального. Це пояснюється тим, що технологічні процеси підприємства протяжні у часі та займають більшу частину доби [14].

Окрім стандарту нерівномірність графіка навантаження та дисперсії оцінюється за значенням коефіцієнта форми [3]:

$$K_{\phi} = \frac{P_{\text{ск}}}{P_c} = 1,02 \quad (3.11)$$

Коефіцієнт форми досліджуваного графіка приблизно дорівнює одиниці, що також свідчить про практично рівномірне навантаження комбіната протягом доби [13, 15].

Коефіцієнт заповнення графіка навантаження:

$$K_z = \frac{P_c}{P_{\text{max}}} = 0,81, \quad (3.12)$$

де $P_{\text{max}} = 1748$ — максимальне значення середньогодинного навантаження комбіната протягом досліджуваної доби, *кВт*. Коефіцієнт заповнення підтверджує відсутність помітного збільшення споживання електричної енергії комбіната у години пікових навантажень [4].

Коефіцієнт максимуму навантаження за досліджувану добу склав:

$$K_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{P_c} = 1,23, \quad (3.13)$$

а коефіцієнт нерівномірності:

$$K_n = \frac{P_{\text{min}}}{P_{\text{max}}} = 0,62, \quad (3.14)$$

де $P_{\text{min}} = 1079$ — мінімальне значення середньо-годинного навантаження комбіната протягом досліджуваної доби, *кВт*. Отримане значення коефіцієнту нерівномірності свідчить про незначний спад навантаження у нічні години доби та є

характерним для підприємств з змінним режимом роботи [4]. Коефіцієнт максимуму навантаження також свідчить про те, що навантаження комбіната практично рівномірно розподілене у денні години доби.

Отримані величини параметрів характерного для березня місяця 2020 року добового графіка навантаження свідчать про те, що режим електричного споживання комбіната близький до оптимального. Досліджувані графіки навантаження за певні дні різних місяців 2019–2020 років дають результати, близькі до вищенаведених.

Кожного року комбінат розраховує потрібні річні об'єми споживання електричної енергії по кожному майданчику вимірювання із диференціюванням по місяцях року та відправляє їх на погодження до ДТЕК «Дніпрообленерго». На підставі затверджених об'ємів споживання розробляються добові та місячні плани споживання електричної енергії. Наприклад, для березня 2020 року план споживання електричної енергії шахти «Родіна» склало 1155 MВт*год . Добові плани споживання електричної енергії визначаються на підставі місячного плану споживання:

$$W_{\text{доб}} = \frac{W_{\text{міс}}}{31} = \frac{1155000}{31} = 37258, \text{ кВт*год} \quad (3.15)$$

На основі планів споживання електричної енергії [13] визначаються договірні рівні потужності у період годин вечірнього і вранішнього максимумів навантаження енергосистеми [3], в тому числі:

— в години вранішнього максимуму: ,

$$P_{\text{м.р}} = \frac{W_{\text{доб}}}{24K_{\text{з.р}}} = 1893 \text{ кВт}, \quad (3.16)$$

$$K_{\text{з.р}} = \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{м.р}}} = 0,82, \quad (3.17)$$

де $P_{\text{м.р}}$ — максимальне навантаження у години вранішнього максимуму, кВт.

— в години вечірнього максимуму:

$$P_{\text{м.в}} = \frac{W_{\text{доб}}}{24K_{3,\text{р}}} = 1744 \text{ кВт}, \quad (3.18)$$

$$K_{3,\text{в}} = \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{м.р}}} = 0,89, \quad (3.19)$$

де $P_{\text{м.в}}$ — максимальне навантаження у години вечірнього максимуму, кВт.

Отримані результати використовують для порівняння рівня поточного навантаження (рисунок 3.10) з встановленим договірним рівнем потужності. За результатами виконаних розрахунків бачимо, що комбінат добре виконує умови договору на користування електроенергією щодо використання потужності у час максимальних навантажень енергосистеми.

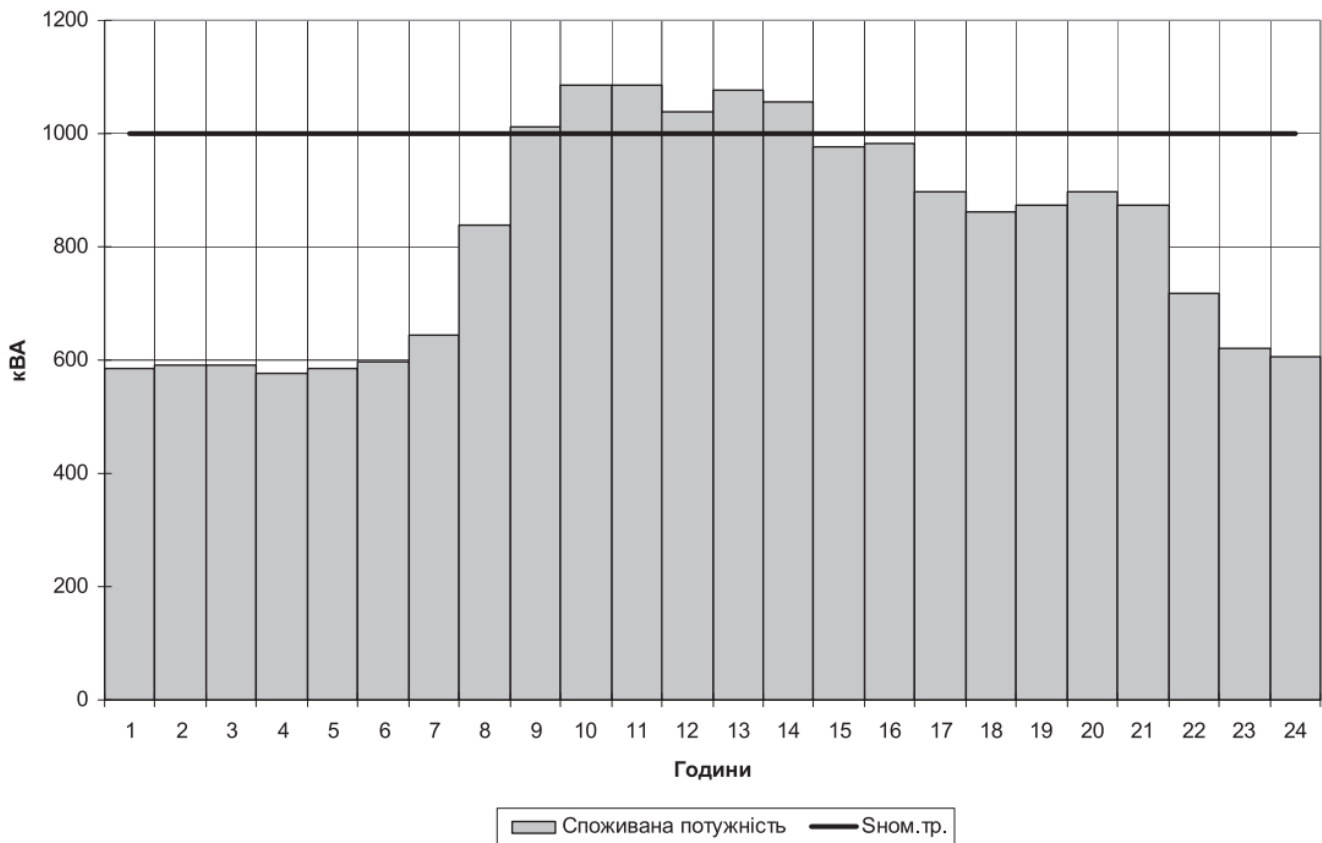


Рисунок 3.10 - Добовий графік навантаження ТП головного майданчика вимірювання для характерної доби березня 2020 року

Враховуючи певні особливості технології, навантаження комбіната протягом року змінюється. У літній період виникає потреба застосування охолоджуючих та вентиляційних установок, режим роботи яких не дозволяє регулювати їхнє споживання, оскільки залежить від низки умов, в тому числі від об'ємів поточного виробництва, умов оточуючого середовища тощо.

Окрім контролю ефективності електричного споживання, інформація, яка надаються АСКОЕ, дає можливість службі головного енергетика здійснювати аналіз параметрів режимів електричного постачання комбіната, у тому числі на основі добових графіків навантаження, місячних і річних графіків електричного споживання визначати втрати у трансформаторах і контролювати їхні коефіцієнти завантаження.

Виконаємо розрахунок втрат і коефіцієнтів завантаження для трансформаторів найбільш завантаженої ТП-1 головного майданчика вимірювання для характерної доби березня 2020 року (рисунок 2.5). На ТП-1 встановлено 2 трансформатори, один з яких у нормальному режимі постачання електричної енергії комбіната є резервним та вмикається у роботу у години збільшення навантаження підприємства.

Повне навантаження трансформатора за даними фактичного споживання активної електричної енергії та інтегрованої в часі реактивної електричної потужності за характерну добу склала [17]:

$$P_{\phi} = \sqrt{P_{\phi}^2 + Q_{\phi}^2} = 818,9 \text{ кВА}, \quad (3.20)$$

де

$$P_{\phi} = \frac{W_{p.\phi}}{T_p} = 815,38 \text{ кВт}, \quad (3.21)$$

де P_{ϕ} — фактична активна потужність трансформатора за типову добу, κBm ; $W_{p,\phi}$ — споживання активної електроенергії за типову добу, $\kappa Bm * год$; $T_p = 24$ — кількість годин роботи трансформатора під навантаженням протягом досліджуваної доби, год. Цілодобова робота трансформатора обумовлена наявністю на комбінаті приладів, які працюють в нічні години доби.

$$Q_{\phi} = \frac{W_{q,\phi}}{T_p} = 76,38 \kappa BAr, \quad (3.22)$$

де Q_{ϕ} — фактична реактивна потужність трансформатора за типову добу, κBAr ; $W_{q,\phi}$ — інтегрована у часі реактивна електрична потужність за типову добу, $\kappa BAr * год$. При цьому коефіцієнт завантаження трансформатора можна визначити за формулою (3.18) :

$$K_3 = \frac{S_{\phi}}{S_H} = 0,818 \quad (3.23)$$

де $S_H = 1000$ — номінальна потужність трансформатора, κBA .

Втрати активної електричної енергії в трансформаторі за досліджувану добу склали:

$$\Delta W_p = \Delta W_{P_{xx}} + \Delta W_{P_{k3}} = \Delta P_{xx} T_{\Pi} + K_3^2 * \Delta P_{k3} * T_p = 358,49 \kappa Bm * год, \quad (3.24)$$

де $T_{\Pi} = 24$ — число годин роботи трансформатора протягом доби, год; $\Delta P_{xx} = 4,9$ — втрати активної потужності у осерді трансформатора (паспортні дані), κBm ; $\Delta P_{k3} = 15$ — втрати активної потужності у обмотках трансформатора при номінальному навантаженні (паспортні дані), κBm .

Втрати реактивної потужності трансформатора в режимі холостого ходу склали:

$$\Delta Q_{xx} = S_H \frac{I_{xx}}{100} = 50 \kappa BAr, \quad (3.25)$$

де $I_{xx} = 5$ — струм холостого ходу трансформатора, %. Втрати реактивної потужності трансформатора у режимі КЗ склади:

$$\Delta Q_{кз} = S_H \frac{U_{кз}}{100} = 55 \text{ кВАр}, \quad (3.26)$$

де $U_{кз} = 5.5$ — напруга короткого замикання трансформатора, %

Втрати інтегрованої в часі реактивної електричної потужності в трансформаторі за досліджувану добу склали:

$$\Delta W_Q = \Delta W_{Qxx} + \Delta W_{Qкз} = \Delta Q_{xx} T_{\Pi} + K_3^2 * \Delta Q_{кз} * T_p = 2083 \text{ кВАр*год}, \quad (3.27)$$

Отримані значення втрат у трансформаторі при завданому режимі роботи не перевищують розрахункових значень [7]. Наступним кроком перевіряємо робочий трансформатор ТП-1 за умовами перевантаження. Коефіцієнт початкового завантаження трансформатора для досліджуваного періоду складає:

$$K_{31} = \frac{1}{S_{\text{НОМ.}m}} \sqrt{\frac{S_{H1}^2 \Delta t_1 + S_{H2}^2 \Delta t_2 + \dots + S_{Hm}^2 \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}} = 0,755 \quad (3.28)$$

де $S_{\text{НОМ.}m}$ — початкова потужність навантаження на інтервалі часу $\Delta t_m = 1$ год. Попередньо визначене значення коефіцієнту перевантаження трансформатора склало:

$$K'_{\Pi} = \frac{1}{S_{\text{НОМ.}m}} \sqrt{\frac{S'_{H1}^2 \Delta H_1 + S'_{H2}^2 \Delta H_2 + \dots + S'_{Hn}^2 \Delta H_n}{\Delta H_1 + \Delta H_2 + \dots + \Delta H_n}} = 0,059 \quad (3.29)$$

де S'_{Hn} — потужність перевантаження на інтервалі часу $\Delta t_n = 1$ год. Значення $K_{\text{мах}}$ для досліджуваного графіка склало:

$$K_{\text{мах}} = \frac{S_{\text{мах}}}{S_{\text{НОМ.}m}} = 1,083, \quad (3.30)$$

де $S_{max} = 1083$ — максимальне значення повного навантаження протягом доби, кВА. Як доводять виконані обчислення $K'_{п} > 0,9$ К ($1,059 > 0,975$), тому приймаємо коефіцієнт перевантаження $K_{п} = 1,059$.

Як бачимо із розрахунків, коефіцієнт перевантаження трансформатора для досліджуваних суток не перевищує допустимої величини $K_{доп} = 1,36$, що визначено за середньомісячною температурою березня 2020 року й коефіцієнтом початкового завантаження [8].

Проведений аналіз графіків навантаження, які отримані за період функціонування АСКОЕ, бачимо, що перевантаження досліджуваного трансформатора на протязі року виникає лише у період уранішнього піку доби взимку, часом не більше 6 годин на добу та не більше, а ніж 5 суток підряд. В такому випадку коефіцієнт перевантаження трансформатора не перевищує допустиму величину 1,4. Відповідно можна зробити висновок, що досліджуваний трансформатор на ТП-1 експлуатується у нормальному режимі.

Також варто враховувати, що навантаження трансформаторів змінюється протягом часу у залежності від замовлень виробництва. Виробництво комбіната адаптоване під ринкові умови, і тому режим роботи комбіната непрогнозований.

Аналізуючи графіки навантаження по інших вимірюваних майданчиків робочих трансформаторах за характерну добу березня 2020 року, отримали наступні значення:

Для ТП-2:

$$K_3 = 0,346, \Delta W_P = 160,7 \text{ кВт*год} \quad \Delta W_Q = 158 \text{ кВАр*год}.$$

Для ТП-3:

$$K_3 = 0,367, \Delta W_P = 43 \text{ кВт*год} \quad \Delta W_Q = 260 \text{ кВАр*год}.$$

Для ТП-4:

$$K_3 = 0,31, \Delta W_P = 28 \text{ кВт*год} \quad \Delta W_Q = 243,12 \text{ кВАр*год}.$$

Впровадження АСКОЕ дозволило службі головного енергетика проаналізувати доцільність застосування диференційованих тарифів оплати за електричну енергію. Шахта розраховується із ДТЕК «Дніпрообленерго». за спожиту електричну енергію за одноставочним тарифом. Плата за електричну енергію за одноставочним тарифом формується шляхом оплати кожної спожитої протягом розрахункового періоду 1 кВт*год за єдиною тарифною ставкою, яка затверджується Національною комісією регулювання електроенергетики (НКРЕ) кожного місяця та доводиться підприємству електропередавальною компанією — постачальником за регульованим тарифом (ПРТ). За даними обліку, отриманими із АСКОЕ, була проаналізована доцільність застосування під час розрахунків за електричну енергію одноставочного тарифу та диференційованого за зонами доби. В результаті застосування одноставочного тарифу, диференційованого за зонами доби, недоцільно, тому що плата за спожиту електричну енергію стає більшою на около 3 %, ніж за одноставочним тарифом. Це можна пояснити тим, що в цей момент основне споживання електричної енергії припадає на період піку і напівпіку, протягом яких споживається майже вдвічі більше електричної енергії, а ніж у нічній зоні. Останнє обумовлене технологічним процесом, особливістю якого є те, що вранці технологічні процеси запускаються після нічної зміни, а під кінець робочого дня комбінат переходить на менше споживання на нічну зміну. Тому в такому випадку простий перехід на розрахунок за новим тарифом без організаційних рішень є невігідним для шахти.

Висновок до розділу

Проаналізований моніторинг рівнів електричного споживання гірничого підприємства гармонізує інформаційно аналітичні складові, які містять комплекс

моделей та методів для визначення оптимальних складових споживання електричної енергії. У результаті дослідження проаналізовано показники споживання електричної енергії на залізорудних підприємствах Криворізького регіону. Зроблено порівняльний аналіз фактичного і запланованого рівня споживання електричної енергії. Виділено актуальні складові показників споживання електричної енергії на залізорудних підприємствах Криворізького регіону. Визначено динаміку структурної трансформації питомої вартості електроенергії виробництва на залізорудних промислових підприємствах Криворізького регіону. При складанні вартісно-цільової складової моніторингу рівнів електричного споживання запропоновано використовувати індексну методологію у парі з трендовими моделями, що дасть змогу визначати прогноз споживання електричної енергії і реалізувати оптимальне управління споживанням електричної енергії.

Економічний ефект від переходу на одноставочний тариф, диференційований по зонах доби, можна досягнути лише із паралельним впровадженням заходів із зміщенням електричного споживання із пікових зон. Це можна вирішити оптимізувавши управління виробництва на підставі детальної інформації про споживання електричної енергії технологічним обладнанням і керування режимами електричного споживання комбіната на основі, в тому числі даних автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

Також, впровадження АСКОЕ дозволило вирішити ряд задач внутрішньовиробничого характеру, таких, як визначення фактичного використання електричної енергії і складання електроенергетичного балансу шахти або інших виробництв, визначення обсягу небалансу і втрат електричної енергії у мережах шахти тощо.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї та будови стартап-проекту

Ідея стартап-проекту полягає у розробленні інформаційно-технічного рішення системи моніторингу навантаження на базі універсальної платформи Arduino Uno, яке може бути використане для контролю і моніторингу електроспоживання промислових підприємств та виробничих об'єднань. Окрім моніторингу, продукт видає аналітичні дані, які в подальшому можна аналізувати та використовувати в управлінні електроспоживанням. Дана платформа значно дешевша ніж звична технологія АСКОЕ та може використовуватись з існуючими електронними лічильниками.

Дана система моніторингу електромереж складається із двох функціональних модулів: апаратного, який розміщується на кожному об'єкті моніторингу та програмного, який встановлюється на віддаленому сервері. В даному стартап-проекті проводиться розробка тільки апаратного модуля бази універсальної платформи Arduino Uno.

Схема дистанційного моніторингу електроенергії практично ідентична типовій схемі АСКОЕ. Автоматизована інформаційно-вимірювальна система комерційного обліку електричної енергії це сукупність програмних та апаратних засобів, які забезпечують дистанційний обробку, збір та зберігання інформації про енергетичні потоки в електричних мережах.

Датчик напруги та струму (PZM004T) з одного боку підключається до інформаційно-вимірювального каналу (ІВК) для обліку інформації про спожиту електричну енергію, з іншого боку - до розробленого контролера. Розроблений контролер є частиною системи АСКОЕ, який виконує роль сполучної ланки між датчиком напруги й струму та віддаленим сервером.

На рисунку 4.1 зображена складена схема системи моніторингу електроенергії.

До складу АСКОЕ входять дві частин:

- ІОК (Інформаційно-обчислювальний комплекс)
- ІВК (Інформаційно-вимірювальний канал)

ІВК умовно можна поділити на два рівні - верхній та нижній.

Верхній рівень включає:

- 1) програмне забезпечення верхнього рівня;
- 2) автоматизовані робочі місця диспетчерів.
- 3) сервери верхнього рівня;

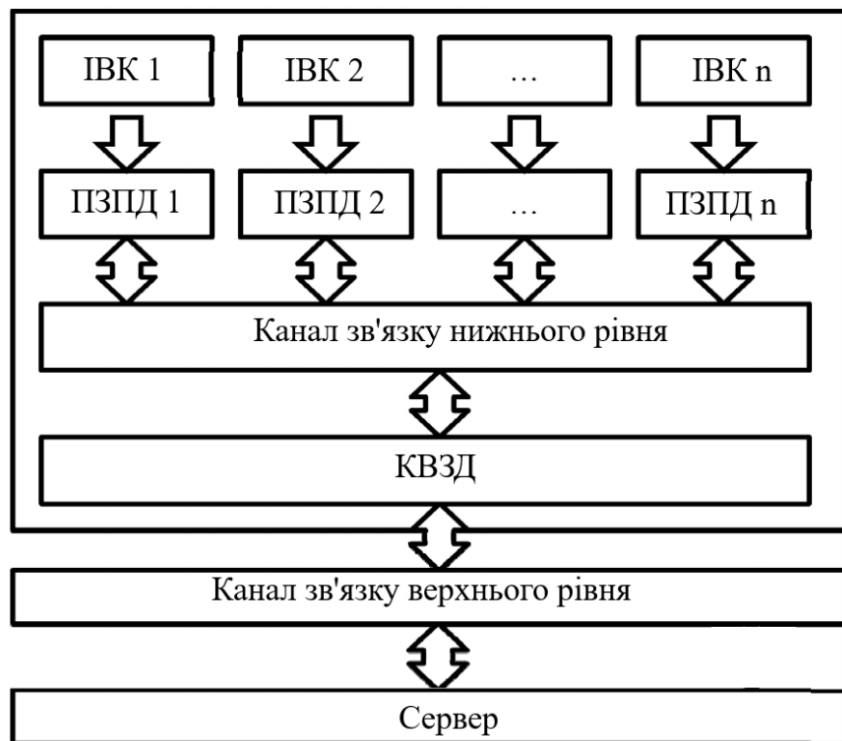


Рисунок 4.1 – схема системи моніторингу електричної енергії

Нижній рівень включає у себе:

- 1) канали зв'язку між лічильниками електричної енергії і ПЗПД;
- 2) пристрої збору і передачі даних (ПЗПД);
- 3) комунікаційне середовище і канали зв'язку між ПЗПД і серверами верхнього рівня (перехід з нижнього рівня на верхній).
- 4) контролери віддаленого збору даних (КВЗД);

В розробленій системі віддаленого моніторингу, пристрій передачі та збору інформації – «це датчик напруги та струму PZM004T». Розроблений контролер у системі АСКОЕ виконує функції контролера віддаленого збору даних (КВЗД). Канал зв'язку нижнього рівня представлений шиною CAN, за допомогою якої передаються дані з датчика, а комунікаційне середовище між контролером віддаленого збору даних та сервером (канал зв'язку верхнього рівня) - комп'ютерна мережа на базі Wi-fi, GSM, Ethernet технологій. До каналу зв'язку нижнього рівня можна під'єднати до ста десяти датчиків до одного контролера. Віддаленим сервером у АСКОЕ є комп'ютер, на якому встановлена програма, яка виконує взаємодію із контролером. Сервер системи створює підсистему обробки та зберігання даних.

На рисунку 4.2 зображено загальну структурну схему системи моніторингу електричної енергії, що використовується в даній роботі.

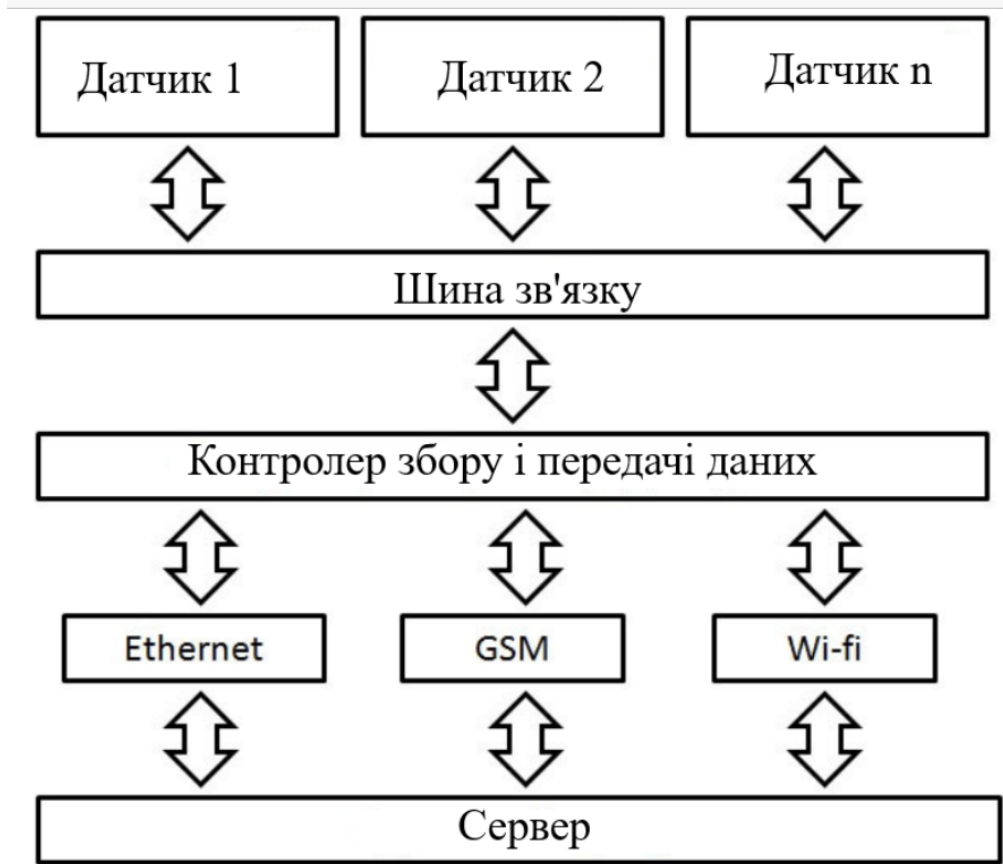


Рисунок 4.2 – Загальна структурна схема системи моніторингу електричної енергії

4.2 Вибір компонентів системи моніторингу спожитої електричної енергії

4.2.1 Універсальна платформа Aduino Uno

Для реалізації даного проекту було використано універсальну платформу Aduino Uno та додаткову плату, завдяки якій буде здійснюватися передача інформації по каналу Wi-Fi, Ethernet або GSM.

Aduino є апсолотно відкритою платформою, до складу якої входить середовища розробки в якій реалізована перероблена версія мови Processing Wiring

та плати. Є можливим використання для розробка автономних інтерактивних об'єктів, або взаємодіяти із комп'ютером (через Flash, Processing, MaxMSP)».

Дана платформа побудована на базі мікроконтролера ATmega328. Вона має «6 аналогових входів та 14 цифрових виходів та входів. Для запуску Arduino потрібно подати живлення через блоку живлення AC / DC або акумуляторної батареї».

Кожен із 14 цифрових виводів Uno можна налаштувати як на вхід так і на вихід, використовуючи спеціальні функції програмування `pinMode ()`, `digitalRead ()`, і `digitalWrite ()`. Потрібне живлення становить 5 В.

Аналогові входи платформи позначені як A0 .. A5 та мають 10 біт і межу вимірювання до 5 В. Проте можна й змінити межу вимірювання через AREF.

Зовнішній вигляд платформи показаний на рисунку 4.3.

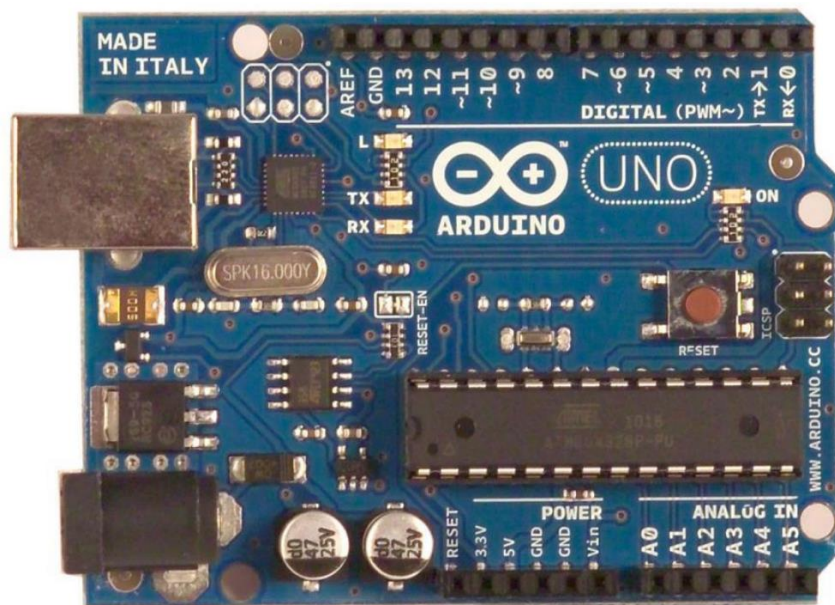


Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд Arduino UNO

Плати типу Arduino застосовуються у багатьох проектах, завдяки своїй доступності та простоті. Програмне забезпечення для Arduino універсальне їм можуть користуватися як новачки, так і досвідчені користувачі. Вона працює на

Windows, Mac та Linux. Дані плати відрізняються своєю дешевизною, зрозумілими та простими засобами для програмування.

4.2.2 Ethernet модуль ENC28J60

У даному розробленому контролері використовується готовий Ethernet модуль на базі ENC28J60. У даній платі використанні наступні технічні параметри:

- Кварц 25 МГц;
- LAN-коннектор 10Base-T з вбудованим трансформатором;
- Виводи SPI інтерфейсу;
- Світлодіоди індикації стану;
- Виводи для підключення живлення 3,3 Вольт;

ENC28J60 – це Ethernet мікроконтролер з SPI інтерфейсом, який задовольняє всім специфікаціям IEEE 802.3. Мікросхема має вбудовані MAC і 10BASE-T PHY».



Рисунок 4.4 – Зовнішній вигляд Ethernet модуля

Особливості мікросхеми ENC28J60:

- Повністю сумісна з 10/100 / 1000Base-T;
- 8 Кбайт SRAM буфер;
- Підтримка полу дуплексного та полнодуплексного режиму;

- Підтримка одного порту 10Base-T з автоматичним визначенням полярності та можливістю його коригування;
- Має програмовану настройку розрахунку CRC і Padding'a;
- Має програмовану настройку автоматичного відхилення пакетів з помилками;
- Має програмовану настройку автоматичної ретрансляції при виявленні колізій;
- Вбудований DMA для швидкого переміщення інформації;
- SPI інтерфейс зі швидкістю обміну не більше 20 МГц;
- Підтримка Multicast, Unicast та Broadcast пакетів;
- Буфер вхідних пакетів є апаратно-керованим циклічним FIFO буфером;
- Має 6 джерел переривань та один вихід для зовнішнього переривання;
- Має програмовану настройку фільтрації вхідних пакетів;
- Напруга живлення 3,2-3,7 Вольт;
- Температурний діапазон: від -30 до +75 ° С.

4.2.3 Wi-Fi модуль ESP8266

При проектуванні автоматизованої системи комерційного обліку можна використовувати у якості контролера Wi-Fi модуль ESP8266 (рисунок 4.5), оскільки: він містить досить велику кількість входів/виходів; містить декілька послідовних портів UART, містить вбудований стек протоколів TCP/IP; які будуть потрібні для налаштування системи; забезпечує задовільною обчислювальною потужністю.

При програмуванні контролера ми використаємо один з його послідовних портів для виведення стану контролера та інформацію про статус давачів. Ми зробили це для того щоб у нас була змога проаналізувати роботу системи, якщо вона не під'єднана до мережі інтернет [14].

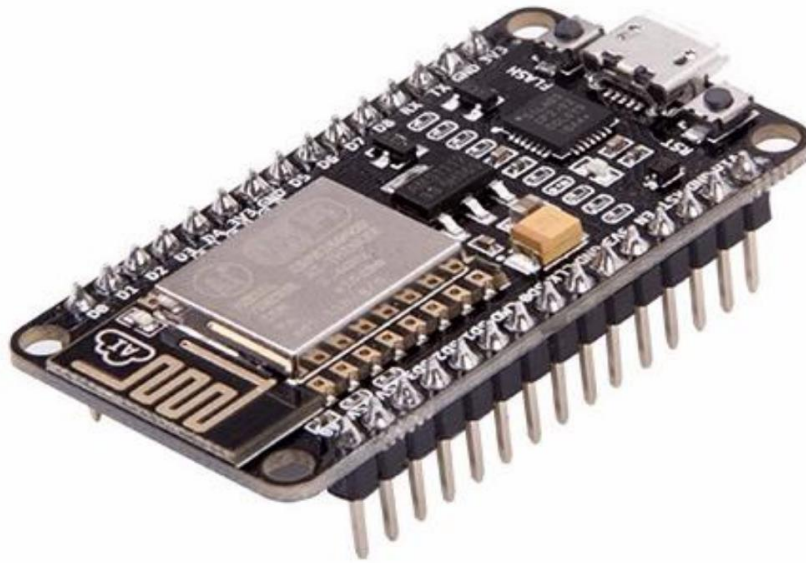


Рисунок 4.5 – Wi-Fi модуль ESP8266 NodeMCU v2

ESP8266 називають мікроконтролер, розроблений Espressif Systems. Сам ESP8266 є автономним Wi-Fi мережевим рішенням, який пропонується у якості Wi-Fi-передавача вже існуючого контролера, а також він може працювати у автономному режимі, при цьому виконувати функції контролера в системі. Даний модуль поставляється із вбудованим роз'ємом USB. Через кабель micro USB, ви можете підключити NodeMCU devkit до вашого переносного комп'ютера та перепрограмувати його за допомогою програмного середовища Arduino IDE.

ESP8266EX також інтегрує вдосконалену версію 32-бітового процесора Tensilica серії L106 Diamond з функціональністю на основі мікросхеми SRAM. ESP8266EX інтегрується із зовнішніми датчиками та іншими пристроями, які використовують конкретні бібліотеки [15].

ESP8266EX Wi-Fi SoC вбудований з контролером пам'яті, включаючи ROM і SRAM. MCU використовує блоки пам'яті через інтерфейси dBus, iBus і AHB. Всі блоки пам'яті можуть бути використаними за запитом, а внутрішня реалізація контролю пам'яті вирішить послідовність виконання згідно до часу, коли дані запити

надходять процесором. Відповідно з нашою поточною версією наданої SDK, об'єм SRAM, доступний користувачам, призначається нижче:

Обсяг оперативної пам'яті <36 kB, тобто, коли ESP8266EX працює у режимі AP та підключений до маршрутизатора, програмований простір, доступний користувачеві в стеку та секції даних, становить около 36kB.)

Характеристики:

- Підтримка STA / AP / STA + AP режимів
- WiFi стандарту 802.11 b / n / g
- Струм на виході 15 мА
- Швидкість передачі даних: 110 – 460800 б/сек
- Вбудований стек протоколів TCP/IP із підтримкою множинних клієнтських підключень (до 5 клієнтів)
- Живлення: 4,5 – 10 В або 5 В живлення від USB
- Споживання: у режимі обміну інформації – від 70 до 200 мА, у режимі очікування менше ніж 70 мА
- Перепрошивка із хмари або через USB.
- Підтримка UART/GPIO інтерфейсів передачі даних.
- Вага: 18 г
- Розмір плати: 48x26 мм

Плата ESP8266 не тільки доповнення для зв'язку по мережі Wi-Fi. ESP8266 сама є мікроконтролером зі своїми UART, SPI, GPIO інтерфейсами, тобто її можна використовувати автономно.

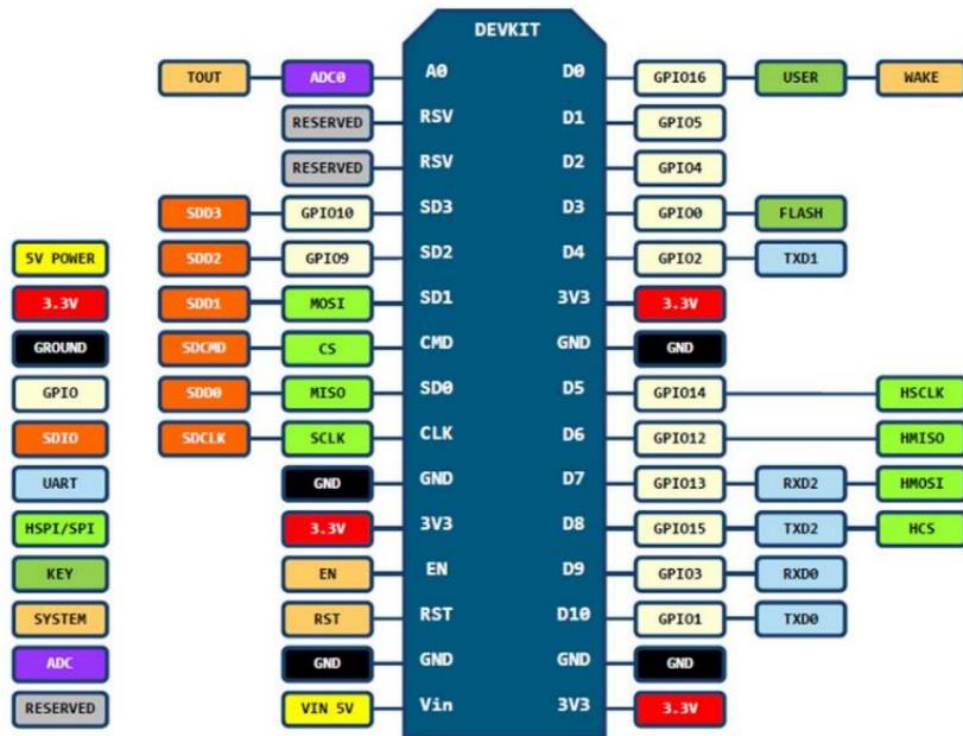


Рисунок 4.6 – Схема розташування виводів ESP8266 NodeMCU v2

Призначення контактів модуля ESP8266 ESP-01 зображено на рис. 4.7.

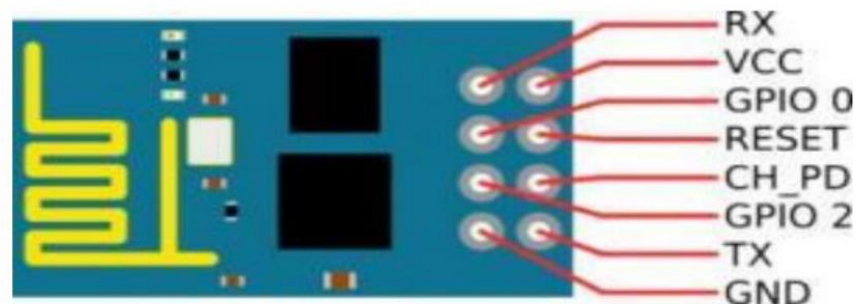


Рисунок 4.7 – Призначення контактів модуля ESP8266

Контакт CH_PD означає «chip power-down». В звичному положенні він має бути під'єднаний до джерела живлення напругою 3,3 Вольт через резистор номіналом 10 кОм. Підключення другиги контактів наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Підключення ESP8266 до Arduino

ESP8266 ESP01	Спосіб підключення	Arduino UNO
RX	через подільник напруги	D11 SoftwareSerial використовується як TX
TX	через подільник напруги	D10 SoftwareSerial використовується як RX
CH_PD	приєднаний через резистор номінальним значенням 10 кОм	+3.3 В
VCC	приєднаний безпосередньо до живлення	+3.3 В
GND	приєднаний безпосередньо до живлення	GND
GPIO0	приєднаний через резистор номінальним значенням 10 кОм	+3.3 В
GPIO2	приєднаний через резистор номінальним значенням 10 кОм	+3.3 В

3.2.4 GSM-модуль SIM800L

Зв'язок з платою Arduino було встановлено через GSM-модуля SIM800L (як зображено на рисунку 3.8) через команди AT. В контексті модуля присутня велика бібліотека із об'єктно-орієнтованими підтримками задля зв'язку із модулем. Це повне Quad-діапазонне GSM / GPRS рішення типу Surface Mount Technology (SMT), яке вбудовано у пристрій лічильників. SIM800 підтримує чотири-полосний діапазон 850/900/1800/1900 МГц, який робить його пристосованим для передачі інформації голосу, SMS й даних з меншим електричним споживанням. Робить його дуже портативним його невеликий розмір (24 * 24 * 3 мм) для дизайнерської упаковки. Окрім вище згаданого, у нього вбудований Bluetooth та AT, що дає змогу

забезпечити загальну економію витрат і швидкий час виходу на ринок, підтримуючи протоколи TCP / UDP та HTTP через GPRS-з'єднання.



Рисунок 4.8 – Зовнішній вигляд GSM-модуля SIM800L

Поєднання його з мобільною мережею плата використовує SIM-карту, надану оператором мобільного зв'язку.

Особливості SIM800:

- Залежно від версії модему, інтерфейс USB для оновлення програмного забезпечення, UART, Bluetooth, PCM, FM-radio.
- Чотирьохдіапазонний GSM / GPRS модуль, 850/900/1800/1900 МГц;
- Вбудований стек UDP / IP, FTP, TCP / IP, PING, HTTP, Email, MMC;
- Позиціонування по базовим станціям;
- Відтворення аудіофайлів локально та в сторону віддаленого абонента;
- Управління AT командами;
- Декодування й формування DTMF-тонів.

3.2.5 Датчик струму та напруги PZEM-004T

Кожна система управління ставить перед собою задачу зробити портативну, автоматичну, точну і надійну систему для вимірювання. Даний датчик представляє

собою новий розумний вимірювальний прилад для автоматичної і покращеної системи обліку. Інтеграція LCD і Arduino забезпечує систему зчитування приладу обліку певними автоматичними функціями, що визначені заздалегідь. Запропонована система приладу обліку електричної енергії може включати в себе вбудований цифровий багатофункціональний вимірювальний прилад PZEM-004T і мікроконтролер який зображено на рисунку 4.9.



Рисунок 4.9 – Зовнішній вигляд вимірювального приладу PZEM-004T

PZEM-004T спроможний вимірювати електричні параметри, такі як струм, напруга, коефіцієнт потужності, частоту, активну потужність та енергію. Виміряні параметри передаються безпосередньо за допомогою послідовного інтерфейсу TTL на плату Arduino та можуть відображаються на ЖК-дисплеї. Наш реалізований проект може забезпечити усі потрібні вимірювання для обліку і виставлення рахунків з достатньою точністю. Деякі особливості нашого проекту є:

- Вимірювання струму і напруги змінного струму із діапазоном від 80 до 260 В змінної напруги, який охоплює основні діапазони напруги країни, такі як 110 В і 230 В, і можливість вимірювання струму 0-100 А;

- Функція сигналізації про перевантаження;
- Точність вимірювання 1%;
- Діапазон вимірювання потужності становить межах 0-22 кВт, а енергетичний діапазон 0-9999 кВт;
- Можливість підключення LED або LCD дисплеїв;
- Робоча частота 45-65Гц;
- Послідовний інтерфейс UART зі швидкістю 9600;
- Напруга живлення 5В;

Схема підключення представлена на рис. 4.10.

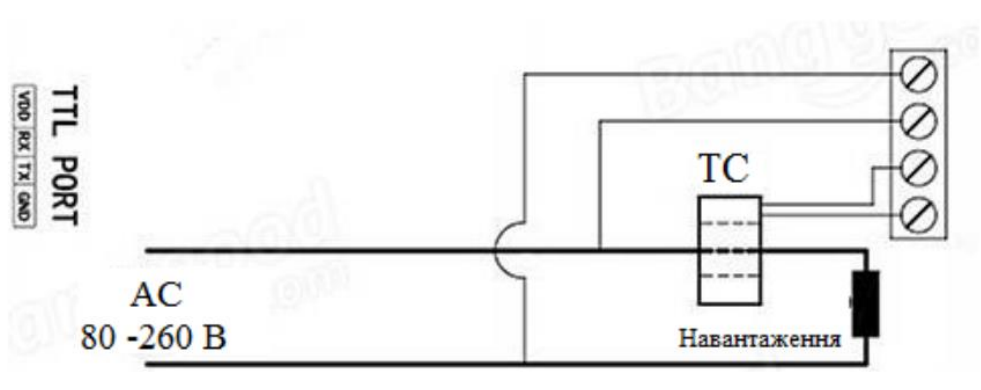


Рисунок 4.10 – Схема підключення вимірювального приладу PZEM-004T

4.3 Структурна схема системи моніторингу спожитої електричної енергії

В попередніх підрозділах, було розглянуто структурну схему контролера, на її основі був зроблений та проведений вибір потрібних компонентів і складена принципова схема, яка зображена на рисунку 4.11.

З структурної схеми бачимо, що контролер складається з:

- 1) Ethernet контролер;
- 2) Базовий мікроконтролер;

- 3) GSM модуль;
- 4) Wi-Fi модуль;
- 5) Датчик PZEM 004T.

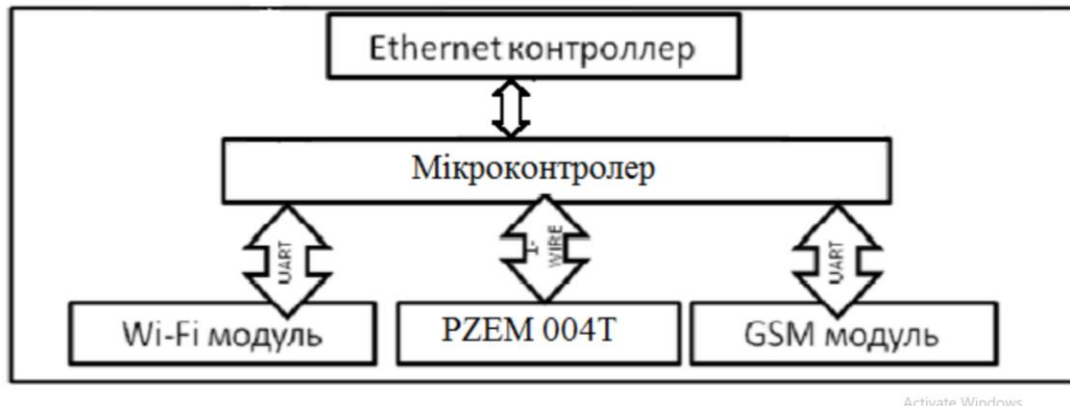


Рисунок 4.11 – Структурна схема системи моніторингу спожитої електроенергії

В розробленому контролері передбачається, за необхідності, заміна датчиків та модулів Ethernet, Wi-fi, GSM. Модуль Ethernet потрібний для передачі отриманої інформації на віддалений сервер з можливістю організації проводового підключення.

Модуль GSM потрібний для бездротового обміну інформацією між віддаленим сервером та контролером. Використовується, коли організація провідного підключення, з якихось причин, дротове з'єднання не функціонує. В місце GSM модуля є змога підключити по UART інтерфейсу інший модуль каналу зв'язку, наприклад PLC.

Модуль Wi-Fi буде використаний для передачі інформації на мобільні пристрої, на яких присутнє Wi-Fi з'єднання. Даний модуль потрібен для зручності користувача, якщо з'явиться необхідність отримати інформації за відсутності провідного з'єднання.

4.4 Алгоритм роботи контролера в системі моніторингу спожитої електроенергії

Командно-інформаційний обмін між віддаленим сервером та контролером забезпечується за принципом «клієнт-сервер», то в контролері потрібно реалізувати взаємодію із віддаленим сервером. Для цього потрібно використовувати сокети. Сокети є зручним та потужним засобом для мережевого програмування.

Клієнтський сокет потрібен для з'єднання зв'язку з сервером. Знаходження необхідного сервера здійснюється у мережі за його імені, або по IP-адресою. Після встановлення з'єднання програма може обмінюватись даними з сервером.

Серверний сокет передбачає обмін інформації з клієнтами. У принципі, від клієнтської реалізації його відрізняє те, що він здатний працювати із декількома клієнтами одночасно.

Алгоритм роботи контролера з використанням Ethernet модуля:

1. Віддалений сервер встановлює з'єднання з контролером, для отримання потрібних даних з датчиків;
2. Сервер відправляє пакет, в якому знаходяться команди для контролера;
3. Контролер отримує дані, визначає, для кого вони призначені (для самого контролера або датчика);
4. У відповідь, датчик напруги і струму відправляє масив інформації на контролер;
5. Контролер запаковує всі потрібну інформацію в пакет та відправляє на сервер;
6. Якщо серверу потрібно відправити ще пакет з командами, то пункти 2-5 повторюються, поки не будуть отримана вся потрібна інформація.

Для впровадження даного алгоритму контролера потрібно зберігати мінімальну кількість параметрів. Віддаленого сервера необхідно лише використовувати ці параметри для встановлення з'єднання. IP адреса контролера не повинен змінюватися. У іншому випадку контролер не матиме змоги функціонувати.

Для сполучення Ethernet модуля потрібно використовувати чотири канали: SO, SCK, CS, SI. Читання даних та команд з Ethernet контролера виконується з виведення MOSI. Сигнал зчитуються по передньому фронту імпульсу на SCK. Зовнішній вигляд контролера системи моніторингу споживання електричної енергії з Ethernet модулем зображено на рисунку 4.12.

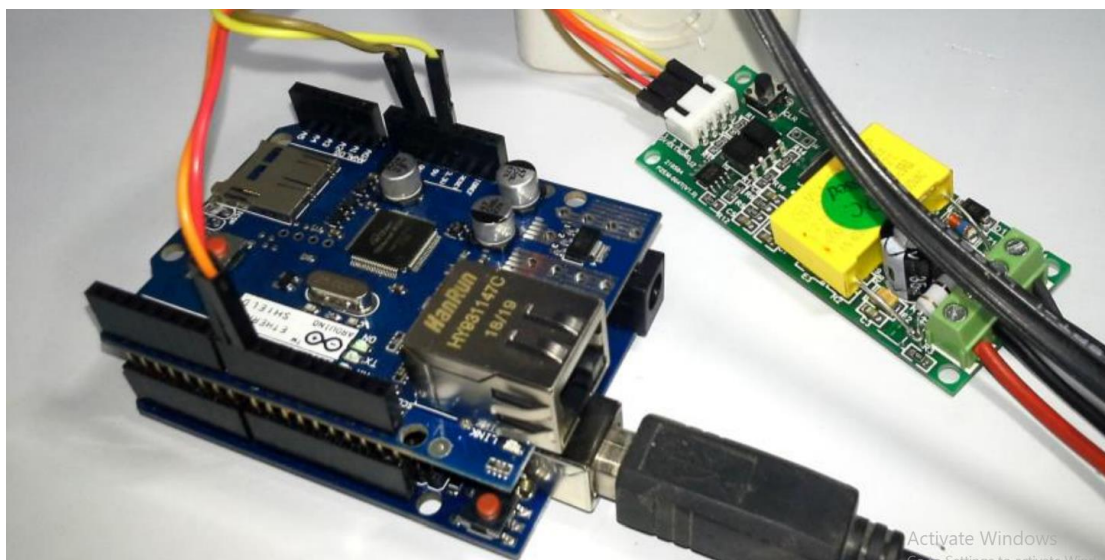


Рисунок 4.12 – Зовнішній вигляд системи моніторингу споживання електричної енергії з Ethernet модулем.

Даний спосіб передачі інформації використовує функції Ethernet Shield, а саме, зв'язок microSD і LAN, слід пам'ятати, що Ethernet Shield працює з шини SPI, яка використовує виводи 10 та 11 Arduino UNO з цієї причини і щоб уникнути конфліктів бібліотека SoftwareSerial, яка створює новий порт для зв'язку з PZEM-004T, використовує виводи rx (8) і tx (9)

Алгоритм роботи контролера із використанням GSM модуля:

1. Віддалений сервер посилає повідомлення контролеру, з команди для контролера або датчика;
2. Контролер отримує дані, визначає, для кого вони призначені (для датчика або самого контролера);
3. З датчика електроенергії по інтерфейсу дані перетворюються в формат UART, та передаються у мікроконтролер;
4. Мікроконтролер створює пакети даних та передає їх по протоколу UART в модуль GSM;
5. Модуль GSM здійснює передачу інформації на віддалений сервер;
6. Сервер отримує та обробляє отримані дані й формує базу даних.

Алгоритм роботи контролера з використанням Wi-fi модуля:

1. Віддалений сервер відправляє повідомлення контролеру, в якому знаходяться команди для контролера або датчика;
2. Контролер отримує дані, визначає, для кого вони призначені (для датчика або самого контролера);
3. Із датчика електроенергії інформація передається в модуль перетворення CAN. Він в свою чергу перетворює їх в формат UART;
4. За протоколом UART дані передаються у мікроконтролер;
5. Мікроконтролер створює пакети даних та передає їх за допомогою протоколу UART в модуль Esp-8266;
6. Модуль ESP-8266 здійснює передачу інформації на віддалений сервер;
7. Сервер отримує та обробляє отримані дані та формує базу даних.

Основний послідовний штифти або порт UART0 gpio03 (rx), gpio01 (tx), не має змоги використовувати для налагодження, оскільки він зайнятий обміном інформації з вимірювачем PZEM-004.

Вивід UART1 gpio02 (tx) використовувався для послідовної налагодження, оскільки це ttl для перегляду з персонального комп'ютера. Зовнішній вигляд і електросхема контролера системи моніторингу споживання електричної енергії з ESP8266 модулем представлено на рисунку 4.13 та рисунку 4.14.

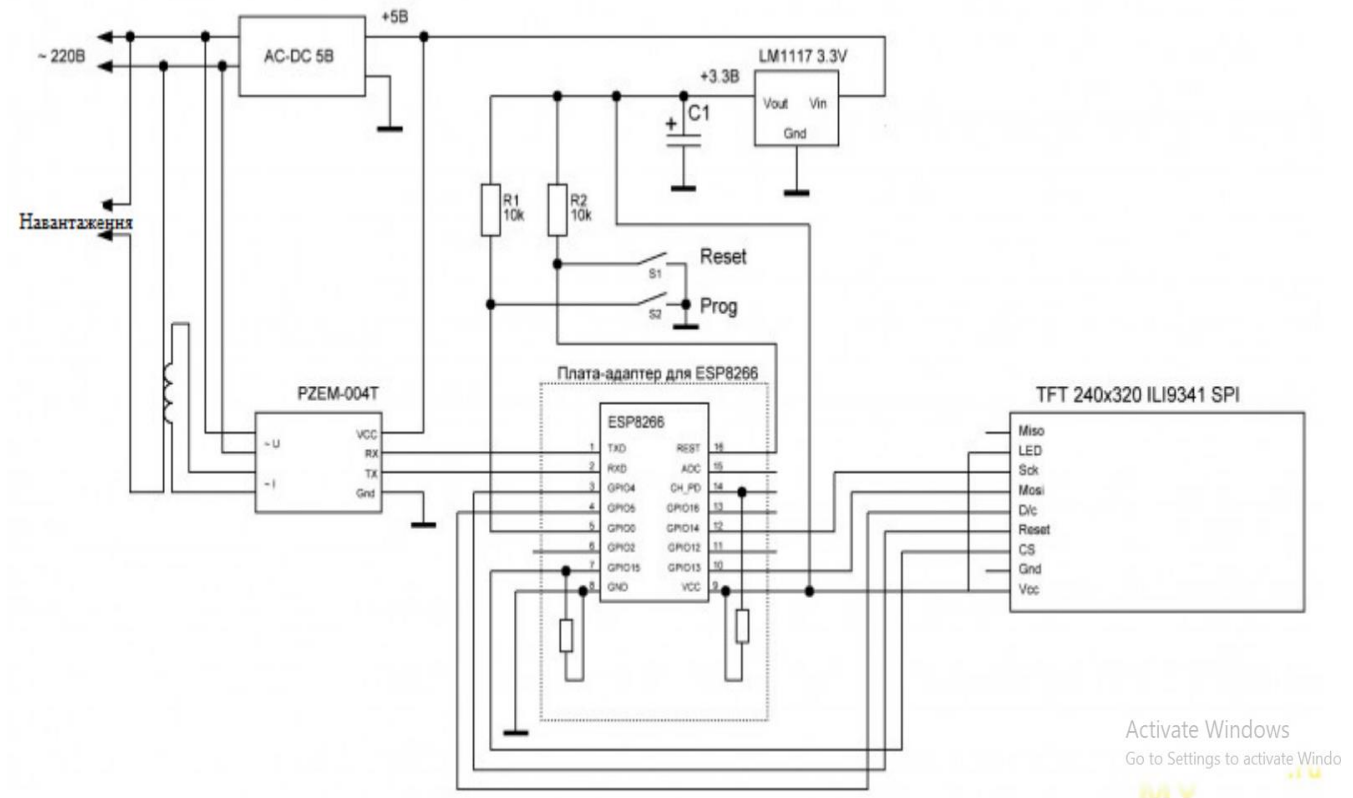


Рисунок 4.13 – Електросхема системи моніторингу споживання електричної енергії з ESP8266 модулем

PZEM-вимірювач під'єднаний до виводу HardwareSerial gpio15 (D8) (tx), gpio13 (D7) (rx), транзистор PNP 2N2907 додається в gpio15, щоб він був в низькому стані при запуску та / або програмуванні ESP8266. Без даного транзистора ESP8266 не запуститься при його програмуванні або перезапуску.



Рисунок 4.14 – Зовнішній вигляд системи моніторингу споживання електричної енергії з ESP8266 модулем

4.5 Експериментальні дослідження споживання електроенергії розробленою системою моніторингу

В цьому розділі представлені практичні результати, отримані від розробленої системи моніторингу. Результати проектування даної системи узагальнені в наступні етапи:

- Програмування мікроконтролера. Arduino Uno, яке являється серцем системи, тобто програмований контролер в мові програмування C ++ на ID Arduino. Програма була відповідним чином налагоджена і протестована, щоб забезпечити обмін даними між Arduino та іншими компонентами.

- Тестування компонентів. Компоненти, що використовувались, пройшли відповідну перевірку, та запевнилися що вони працюють. Кожен основний компонент, який повинен був бути пов'язаний з мікроконтролером, було протестовано і підключено для забезпечення належного обміну інформацією.

- З'єднання компонентів і тестування системи. Після програмування, налаштування компонента і тестування веб-додатка.

Дана система моніторингу споживання електричної енергії служить доповненням до звичайного лічильника, та під'єднується без розриву з існуючими електричними колами, що спрощує монтаж. Для запису інформації з певним інтервалом, наприклад, 1хв. було використано модуль DS3231. На сьогодні було змонтовано такий прилад та проведено запис електроенергії, а також основні параметри приватного споживача. Всі отримані значення записувалися в файл.

На рисунку 4.15, 4.16 зображено графіки напруги у мережі, а також струм який споживався, а на рисунку 4.17 зображено графік споживання потужності, розробленою системою моніторингу споживання електричної енергії.

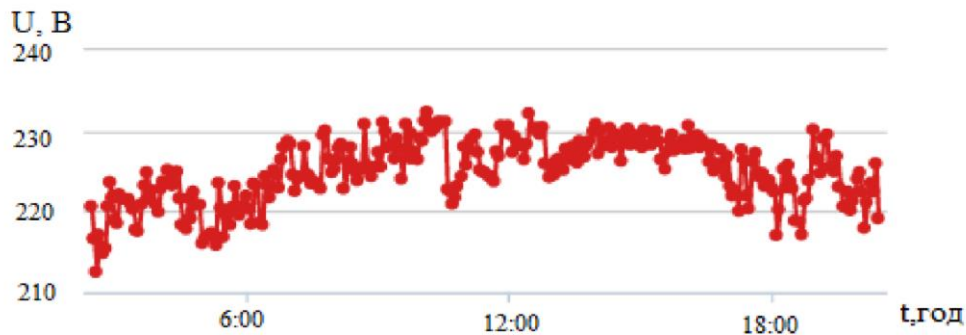


Рисунок 4.15 – Графік напруги у мережі на протязі однієї доби

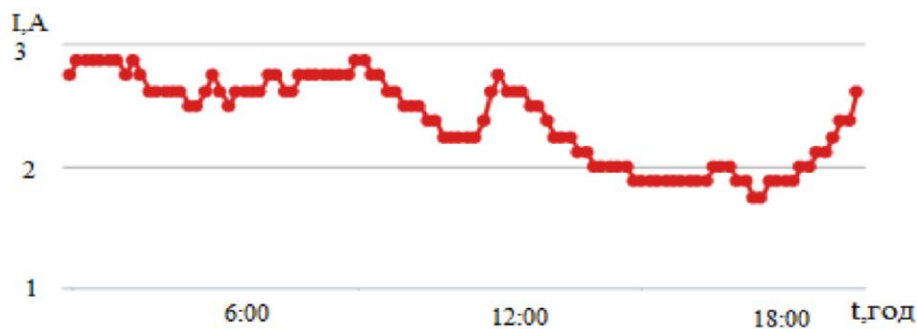


Рисунок 4.16 – Графік струму в мережі на протязі однієї доби

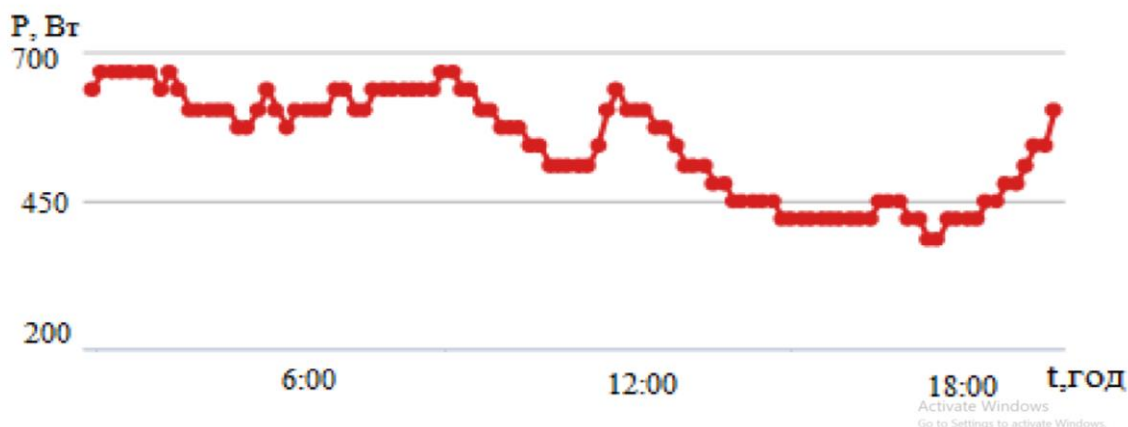


Рисунок 4.17 – Графік споживаної потужності на протязі однієї доби

Висновки до розділу

В даному розділі було запропоновано структурну модель автоматизованої вимірювальної системи контролю та функціонування комплексу багатопараметричного обліку розподіленого споживання електричної енергії

Проведено підбір структурних елементів автоматизованої вимірювальної системи моніторингу та контролю, а саме: GSM модуль, Ethernet модуль та Wi-fi модуль. Для роботи контролера з Ethernet модулем була написана програма. Розроблено контролер, який є частиною автоматизованої системи дистанційного моніторингу та контролю і має можливість отримувати інформацію про стан електромережі від датчика PZEM 004T.

Складено 3 алгоритма роботи контролера із різними модулями, а саме: з Ethernet, GSM і Wi-fi модулем. Також було написано тестові програми для перевірки роботи розробленого контролера зі різними периферійними пристроями, а саме з модулем Wi-fi ESP 12-E на базі мікросхеми ESP8266, модулем Ethernet і датчиком PZEM 004T.

ВИСНОВОК

Проведений огляд та аналіз існуючих засобів та методів технічного та комерційного обліку електроенергії й потужності показав, що системи обліку практично не забезпечують потрібної швидкості обробки даних і точності, так як вимірювальні пристрої застарілі та не досконалі і мають велику похибку та працюють в умов не належних їх експлуатаційними характеристиками.

Проведений аналіз можливих шляхів застосування даних від АСКОЕ дозволяє стверджувати, що на промисловому підприємстві можливо та потрібно створення єдиної автоматизованої системи моніторингу режимів електроспоживання / електропостачання електроенергії (а у подальшому й усіх енергоресурсів) для проведення комплексу заходів, направлених на підвищення енергетичної ефективності підприємства у цілому.

Проаналізований моніторинг рівнів електричного споживання гірничого підприємства гармонізує інформаційно аналітичні складові, які містять комплекс моделей та методів для визначення оптимальних складових споживання електричної енергії. У результаті дослідження проаналізовано показники споживання електричної енергії на залізорудних підприємствах Криворізького регіону. Зроблено порівняльний аналіз фактичного і запланованого рівня споживання електричної енергії. Виділено актуальні складові показників споживання електричної енергії на залізорудних підприємствах Криворізького регіону. Визначено динаміку структурної трансформації питомої вартості електроенергії виробництва на залізорудних промислових підприємствах Криворізького регіону. При складанні вартісно-цільової складової моніторингу рівнів електричного споживання запропоновано використовувати індексну методологію у парі з трендовими моделями, що дасть змогу визначати прогноз споживання електричної енергії і реалізувати оптимальне управління споживанням електричної енергії.

Економічний ефект від переходу на одноставочний тариф, диференційований по зонах доби, можна досягнути лише із паралельним впровадженням заходів із зміщенням електричного споживання із пікових зон. Це можна вирішити оптимізуючи управління виробництва на підставі детальної інформації про споживання електричної енергії технологічним обладнанням і керування режимами електричного споживання комбіната на основі, в тому числі даних автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

Також, впровадження АСКОЕ дозволило вирішити ряд задач внутрішньовиробничого характеру, таких, як визначення фактичного використання електричної енергії і складання електроенергетичного балансу шахти або інших виробництв, визначення обсягу небалансу і втрат електричної енергії у мережах шахти тощо.

В стартап проекті було запропоновано структурну модель розробленої автоматизованої вимірювальної системи контролю та моніторингу споживання електричної енергії бази Arduino UNO.

Проведений підбір структурних елементів автоматизованої вимірювальної системи моніторингу та контролю, а саме: GSM модуль, Ethernet модуль та Wi-fi модуль. Для роботи контролера з Ethernet модулем була написана програма. Розроблено контролер, який є частиною автоматизованої системи дистанційного моніторингу та контролю і має можливість отримувати інформацію про стан електромережі від датчика PZEM 004T.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку / Затв. спільним наказом Мінпаливенерго, НКРЕ, Держкоменергозбереження, Держстандарту, Держбуду та Держкомпромполітики України №32/28/28/276/75/54 від 17.04.2000 р. - м. Київ.
2. Аганичев А., Панфилов Д., Плавич М. Цифровые счетчики электрической энергии /Chip News. – 2000. – N 2. – С. 18–22
3. Офіційний сайт Державного агенства з енергоефективності та енергозбереження України: <http://saee.gov.ua>.
4. Офіційний сайт ДП «Укрметртестстандарт»: <http://www.ukrcsm.kiev.ua>.
5. Праховник А.В. Автоматизация управления электропотреблением / А.В. Праховник – К.: Вища школа, 1986. – 76 с.
6. Гинайло В. А. Зачем нужны автоматизированные системы учета электроэнергии?/ В.А. Гинайло, А.В. Гинайло, П. Р. Надуда, Е.Н. Танкевич // Промэлектро. – 2008 – № 5 – С. 47–52.
7. Гуртовцев А.Л. Комплексная автоматизация энергоучета на промышленных предприятиях и хозяйственных объектах / А.Л. Гуртовцев // СТА. – 1999. –№ 3. – С. 44–45.
8. Праховник А.В. Автоматизовані системи обліку та якості електроенергії в оптовому ринку / А.В. Праховник, Ю.Ф. Тесик, А.Ф. Жаркін, В.О. Новський, О.Г. Гриб [та ін.] (під ред. Гриба О.Г.). – Харків.: ПП «Ранок-НТ», 2012. – 516 с.
9. Петухов В. Г. АСКУЭ как инструмент энергосбережения. – [Електронний ресурс] – Режим доступу – URL: <http://www.eu.sama.ru/publications>

10. Калинин В.П., Розен В.П., Соловей А.И., Танский А.-М. М. Энергетический менеджмент. Графические методы обработки информации: Учебное пособие / В.П. Калинин, В.П. Розен, А.И. Соловей, А.-М. Танский. – К.: Кондор. – 2007. – 104 с.
11. Бедерак Я.С. Применение метода экспоненциального сглаживания для восстановления утерянных данных технического учета на промышленных предприятиях / Я.С. Бедерак // Електротехніка і Електромеханіка. – 2014. – №4. – С. 52–55.
12. Р.О. Буйний. Використання інформації від АСКОВ та нейронних мереж для розрахунку недовідпуску електричної енергії споживачам / Р.О. Буйний, В.В. Зорін, В.В. Козирський // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2009. – № 2. – С. 82 – 86
13. Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю.С. Железко. – М.: НЦ ЭНАС. – 2002. – 280 с.
14. ГНД 34.09.203-2004. Нормування витрат електроенергії на власні потреби підстанцій 35-750 кВ і розподільчих пунктів 6-10 кВ. Інструкція. Галузевий нормативний документ. . – К.: ОЕП «ГРІФРЕ». – 2004. – 38 с.
15. Банин Д.Б., Банин М.Д., Дегтярев А.В., Бедерак Я.С. Расчет реальной величины перетока реактивной электроэнергии для промышленных предприятий на основе данных АСКУЭ / Д.Б. Банин, М.Д. Банин, А.В. Дегтярев, Я.С. Бедерак // Енергетика та електрифікація. – 2013. – №9. – С. 16 – 21.
16. Находов В.Ф. Удосконалення діючої системи нормалізації енергоспоживання на основі контролю і планування витрат електричної енергії/ В.Ф. Находов, О.В. Бориченко, О.В. Тишко // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро : інформ. зб. – 2010. – № 3. – С. 51 – 58.

17. Находов В.Ф. Контроль та аналіз виконання встановлених «стандартів» в системах статистичного контролю ефективності використання електричної енергії / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // «Промислова електроенергетика та електротехніка» Промелектро : інформ. зб. – 2011. – № 2. – С. 16 – 23.

18. Прокопенко В.В. Полнофункциональный инструментарий для реализации перманентного энергетического аудита / В.В. Прокопенко, О.В. Коцарь, Ю.А. Расько, Ю.С. Павлова // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – № 2. – С. 85 – 92.

19. Чернявський А.В. Інформаційно-аналітичні засоби моніторингу енергоефективності об'єктів нафтодобувної галузі / А.В. Чернявський, Д.В. Якобюк // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – № 2. – С. 111 – 115.

20. Інструкція про порядок комерційного обліку електричної енергії, затверджена Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол №12 від 08 жовтня 1998 р.

21. Коменда Н.В. Пошук споживачів-регуляторів на основі морфо метричного підходу при управлінні добовим навантаженням промислового підприємства / Н.В. Коменда, Т.І. Коменда, О.Д. Демов // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України: Зб. наук. пр. — К.: ІЕД НАНУ, 2010. — Вип 27. — С. 22 – 26.

22. Вимоги Головного оператора системи комерційного обліку ОРЕ щодо складу, змісту та умов погодження технічних завдань, технічних, робочих та техноробочих проектів на створення автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) ОРЕ. Додаток до листа ДП «Енергоринок» від 13.06.2014 № 03/35-6204.

23. Волошко А.В. Восстановление учетных данных энергопотребления на промышленных предприятиях / А.В. Волошко, Т.Н. Лутчин, Я.С. Бедерак //

Материалы VII Международной научнопрактической конф., 26 ноября 2012 г. – Москва, 2012. – С. 179 – 188.

24. Бедерак Я.С. Методы проверки схем включения счетчиков и измерительных каналов систем учета электроэнергии: Монография / Я.С. Бедерак, А.В. Волошко, Ю.А. Родин, А.В. Праховник. – Харьков: Изд-во «Форт», 2012. – 136 с.

25. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт. [Действителен от 2000 – 01 – 01]. – М., ИПК Издательство стандартов, 1998. К., Госстандарт Украины с дополнениями и поправками, 1999. – 31 с. (Госстандарт).

26. Бедерак Я.С. Засоби захисту конденсаторних установок 10 (6) кВ, встановлених в одній вітці зведеного струмообмежувального реактору, у випадку наявності підключеного до другої вітки джерела вищих гармонік, від резонансу струмів / Я.С. Бедерак // Енергетика і Електрифікація. – 2014. – №6. – С. 34–37.